ASTIGMATISMUS

UND

CYLINDRISCHE GLÆSER

VON

F. C. DONDERS.

BERLIN.
VERLAG VON HERMANN PETERS.
1862.

ASTIGMATISMUS

UND

CYLINDRISCHE GLÆSER.

AN

ALBRECHT VON GRAEFE.

Wie viele Gedanken drängen sich mir auf, indem ich über diese Zueignung Deinen Namen schreibe.

Zuerst treten mir die in London verlebten Tage vor die Seele, welche im lebendigen Austausche alles dessen, was unserem Herzen und Geiste frei entquoll, eine Freundschaft sich entwickeln sahen, deren Keim schon längst in unserer Seele verborgen lag. Noch sehe ich uns am Abende eines jener unvergleichlichen Tage — so reich an Eindrücken im Gewühle der grossen Weltstadt! — in geselliger und lehrreicher Unterhaltung vereinigt in dem gastfreien Hause William Bowman's oder anderer Freunde, die uns lieb geblieben sind.

Und bald nach dem Händedrucke, der uns trennte, tratest Du auf in Deiner Vaterstadt Berlin, um dort wie mit einem Zauberschlage den Mittelpunkt der Augenheilkunde zu errichten.

Da eröffnete sich Dir die glänzende Laufbahn, die bei Deiner seltenen Begabung, bei Deiner unbegrenzten Liebe zur Wissenschaft und zur Menschheit Jeder Dir prophezeite.

Mit der innigsten Theilnahme folgte ich bewundernd Deinen Schritten.

Priester der Kunst in der erhabensten Bedeutung des Wortes, fühltest Du Dich glücklich in dem Bewusstsein, Deine besten Kräfte dem Wohle der Menschheit zu widmen.

Eingeweiht in die Tiefen der Wissenschaft, ausgerüstet mit der glücklichsten Beobachtungsgabe, umringt und fast angebetet von einer Schaar von Jüngern, welche in Dir den Menschen liebten, wie sie den Meister verehrten, standest Du da als unerreichtes Urbild eines klinischen Lehrers.

Die Geschichte unserer Kunst kennt kein zweites Beispiel eines so schnellen und allseitigen Triumphes.

Und plötzlich, auf der Höhe Deines Ruhmes, an der Schwelle der Erfüllung des theuersten Deiner Wünsche, finde ich Dich wieder auf dem Kranken-

bette, wehmüthig den Blick gerichtet auf alle die schönen Hoffnungen, deren Erfüllung das Schicksal zu vernichten drohte. Monate lang schien der Engel des Todes Dein Bett zu umschweben. Müssten wir nun nicht Alle in einen lauten und dankbaren Jubelruf ausbrechen, nun wir Dich wieder frei die Schwingen entfaltend, wie neugeboren vor uns sehen!

Die Blätter, die ich Dir hiermit anbiete, enthalten die Fortsetzung meiner Studien über die Refraction des Auges, denen Du fortdauernd mit Theilnahme gefolgt bist.

Merkwürdiges Zusammentreffen! Die ersten Worte, die ich schrieb, wurden durch einen Brief von Deiner Hand unterbrochen, der Zeugniss gab von allen den bangen Tagen, die Du durchlebt hattest, aber auch voll froher Hoffnungen für die Zukunft. Dieser Brief war mir das Sinnbild eines neu erschlossenen Lebens. Er lag vor mir, während ich schrieb, und so hatte ich beständig Dich vor Augen und fühlte mich wie durch Deinen Geist beseelt. Darum habe ich dies Werk, wie klein es sei, lieb gewonnen. Darum habe ich mich gedrungen gefühlt, es Dir, mein edler Freund! zu

widmen. Mir ist die Erinnerung der Tage, wo der milde Einfluss des südlichen Himmels Dir neue und frische Kräfte schenkte, für immer damit verbunden. Sei es Dir ein schwacher Beweis meiner Freude und bringe es Dir aus Herzensgrunde meinen Glückwunsch zu dem Lenze Deines neu begonnenen Lebens!

Utrecht, 8. April 1862.

F. C. DONDERS.

VORWORT.

Diese Blätter handeln von einer eigenthümlichen Asymmetrie des lichtbrechenden Apparates des Auges; nämlich von der Verschiedenheit der Brennweite in seinen verschiedenen Meridianen. Diese Anomalie ist nicht unbekannt. Der berühmte Airy, Astronomer Royal of England, entdeckte sie auf seinem linken Auge und liess zu ihrer Correction bereits 1836 ein concav-cylindrisch-sphaerisches Glas schleifen, welches ganz seinem Zwecke entsprach. In Anschluss an diesen Fall wurden, besonders in England, noch einige andere veröffentlicht. Vom Continent Europa's kam nur ein einziger zu unserer Kenntnis.

Die mitgetheilten Fälle wurden von einem Buch getreulich ins andere übertragen, aber immer als selten vorkommende und für die Praxis wenig wichtige Curiosa betrachtet und behandelt. Diese Ansicht beruhte auf einer Täuschung. Jahre lang habe ich sie getheilt, bin aber davon zurückgekommen. Seit meine Aufmerksamkeit auf dieses Gebrechen gerichtet war, haben sich die Fälle in unglaublicher Weise gemehrt: es kam nur darauf an, sie zu erkennen, wenn sie sich darbieten. Ich nehme keinen Anstand, zu behaupten, dass unter hundert Kranken, die sich an den Augenarzt wenden, durchschnittlich mindestens zwei sich befinden werden, deren Sehschärfe durch Asymmetrie des dioptrischen Apparates gelitten hat, und eine Verbesserung durch cylindrische Gläser erwarten lässt.

So wird zu unserer grossen Befriedigung das Gebiet der noch dunklen Amblyopien auf's Neue beschränkt.

Dieser Gegenstand wurde auf der im September 1861 zu Heidelberg abgehaltenen Zusammenkunft von Dr. Knapp zur Sprache gebracht. Er theilte die Ergebnisse einiger Messungen der Cornea mit, welche er bei Fällen von Asymmetrie angestellt hatte. Ich war im Stande, die Resultate meiner Erfahrungen daran anzuknüpfen, die, was die Messungen anlangt, mit denen von Dr. Knapp übereinstimmten, und zugleich die ansehnliche Verbesserung der Sehschärfe, die ich in einigen Fällen durch Anwendung cylindrischer Gläser erhalten hatte, hervorzuheben.

*Seit dieser Zeit setzte ich meine Untersuchungen fort. Es war vor Allem mein Streben, die Erkennung und die Bestimmung des Grades der Asymmetrie bequem zu machen und darauf die Vorschriften für die in jedem besonderen Fall nothwendigen Gläser zu gründen. Mein Bestreben war es auch, die verschiedenen Arten von Gläsern im Handel beziehbar zu machen, was jetzt wohl erreicht sein möchte.**)

Es ist ein neuer Triumph, den hier die Wissenschaft feiert. Gewöhnlich nur dazu berufen, die auf praktischem Gebiete bereits erzielten Resultate zu erklären, tritt sie hier selbstständig auf — der Praxis die geringere Aufgabe überlassend, ihre Ansprüche anzuwenden und ihre Früchte sich anzueignen.

Diese Aufgabe hat die Praxis ihrerseits als eine dauernde Pflicht anzutreten.

DER VERFASSER.

*) *Während ich auf den Wunsch des Herrn Prof.* **Donders** *die Uebersetzung des vorliegenden Werkchens aus dem Holländischen besorgte, wurden mir für eine Anzahl unterdessen in meine Behandlung gekommener Astigmatiker die nöthigen cylindrischen Gläser durch die Herren Optiker* **Paetz & Flohr** *(Berlin, U. d. Linden 13) geliefert, welche sich für die Anfertigung aller Arten cylindrischer Gläser vollständig eingerichtet haben.*

Dr. SCHWEIGGER.

INHALT.

I.

Ueberblick der Refractions-Anomalien.

Der lichtbrechende Apparat des normalen Auges hat im Zustand der Accommodations-Ruhe seinen Brennpunkt auf der Netzhaut und zwar auf der Vorderfläche der das Licht percipirenden Stäbchen-Schicht: parallele, von unendlich entfernten Objekten ausgehende Strahlen kommen nach ihrer Brechung durch die durchsichtigen Medien eines solchen Auges, gerade auf der erwähnten Fläche zur Vereinigung. Die äusserste Grenze des deutlichen Sehens — der Fernpunkt — liegt daher in unendlicher Entfernung, und das ist eben auch die Grenze dessen was wir bedürfen. Ein Auge, welches diesen Bedingungen entspricht, nennen wir deshalb emmetropisch.

In zwei Hinsichten kann das Auge von diesem idealen Zustand abweichen und ametropisch werden.

Der Brennpunkt des lichtbrechenden Apparates kann entweder vor, oder hinter die Vorderfläche der Stäbchen-Schicht fallen. Im ersten Fall ist das Auge kurzsichtig, myopisch, brachymetropisch; im letzteren Fall ist es hypermetropisch.

Im kurzsichtigen Auge liegt der Fernpunkt in endlicher Entfernung vor dem Auge; im hypermetropischem liegt dieser Punkt in einer endlichen Entfernung hinter dem

Auge. Das heisst: bei vollständiger Accommodations Ruhe bringt das kurzsichtige Auge auf seiner Netzhaut solche Strahlen zur Vereinigung, welche aus einem vor dem Auge gelegenen Punkt divergiren, das hypermetropische, solche, welche nach einem hinter dem Auge gelegenen Punkte convergiren.

Myopie und Hypermetropie sind daher zwei einander entgegengesetzte Zustände. Beide haben auch das gemeinschaftlich, dass ihr Grund hauptsächlich in einer Abweichung von der gewöhnlichen Länge der Augenachse zu suchen ist; im myopischen Auge ist diese länger, im hypermetropischen kürzer als im emmetropischen. Myopie und Hypermetropie, unter der Bezeichnung Ametropie zusammengefasst, stehen daher der Emmetropie gegenüber.

Die Myopie hat eine grössere Bedeutung erhalten durch das gründliche Studium ihres innigen Zusammenhanges mit verschiedenen namhaften Veränderungen im Augenhintergrund (staphyloma posticum, sclerotico-chorioiditis, Atrophie, Netzhautablösung, Haemorrhagien etc.) Die erst in letzter Zeit schärfer aufgefasste Hypermetropie verdient in hohem Maasse die Aufmerksamkeit der Augenärzte, weil sie den meisten Fällen von Asthenopie und Strabismus convergens zu Grunde liegt. Wenn hieran von einigen Seiten gezweifelt wird, so geschieht dies nur deshalb, weil man übersehen hat, dass durch Accommodations-Anspannung die Hypermetropie latent (verborgen) sein kann. Wird durch ein Mydriaticum das Accommodations-Vermögen aufgehoben, so ist jeder Zweifel geschwunden; sie muss dann nothwendig manifest werden. Man schliesst nun auf Hypermetropie, wenn mit Hülfe von positiven Gläsern entfernte Objekte deutlicher gesehen werden, so wie umgekehrt Myopie sich dadurch charakterisirt, dass die Schärfe des Sehens in die Ferne durch negative Gläser zunimmt.

Der Grad der Ametropie wird bestimmt durch die Brennweite der Linse, durch welche die Ametropie corrigirt und mit welcher bewaffnet daher das Auge emmetropisch wird. Die dioptrische Kraft oder die Stärke einer Linse ist umgekehrt proportional zu ihrer Brennweite F. Sie kann also ausgedrückt werden durch $\frac{1}{F}$. Den Werth von F geben wir in Pariser Zoll. Bezeichnen wir also die Stärke einer Linse = $^1/_6$, $^1/_8$ etc., so besagt dies, dass es Linsen sind von sechs resp. acht Pariser Zoll positiver Brennweite. Linsen von - $^1/_{10}$, - $^1/_{20}$ sind Linsen von zehn resp. zwanzig Pariser Zoll negativer Brennweite.

Diese Ausdrucksweise übertragen wir auf die Ametropie. Myopie M = $^1/_9$ bedeutet, dass ein Glas von neun Pariser Zoll negativer Brennweite erfordert wird, um die Myopie zu neutralisiren und das Auge emmetropisch zu machen. Hypermetropie H = $^1/_{12}$ ist ein Grad von Ametropie, welcher durch eine Hülfs-Linse von zwölf Pariser Zoll positiver Brennweite corrigirt wird.

Die Ametropie oder die Refractions-Anomalien lösen sich also nach dem eben Gesagten auf in zwei entgegengesetzte Zustände, Myopie und Hypermetropie. Jede Refractions-Anomalie gehört zu einer von diesen beiden.

Nun aber zeigt es sich, dass in den verschiedenen Meridianen eines und desselben Auges die Refraction nicht gleich ist. Ein und dasselbe Auge kann in einem Meridian emmetropisch, in einem andern ametropisch sein; in den verschiedenen Meridianen können Unterschiede im Grade ja selbst in der Form der Ametropie vorkommen.

Die Asymmetrie, worauf der erwähnte Unterschied beruht, kommt allen Augen zu. Gewöhnlich besteht sie in so geringem Grade, dass die Sehschärfe nicht wesentlich darunter leidet. Ausnahmsweise aber wird sie erheb-

lich und verursacht eine Aberration der Lichtstrahlen, welche der Sehschärfe Abbruch thut.

Diese Aberration kann mit dem Namen Astigmatismus bezeichnet werden. Hiervon handeln die folgenden Blätter.

Ein strenges Auseinanderhalten der Refractions- und Accommodations-Anomalien ist nothwendig, weil die Begriffe von Refraktion und Accommodation ihrem Wesen nach durchaus verschieden sind. Die Refraction des Auges ist die Lichtbrechung im Ruhestand, die Brechung, die der dioptrische Apparat kraft seiner Form besitzt, unabhängig von Muskelwirkung, unabhängig von Accommodation. Die Accommodation des Auges beruht auf der Veränderung, welche die Refraction durch willkührliche Muskelwirkung erfahren kann. Die grösste Entfernung des deutlichen Sehens R entspricht dem Ruhezustand der Accommodation. Wenn letztere in Kraft tritt, wird das Auge auf eine immer kleinere und kleinere Entfernung eingerichtet, bis zur kleinsten Entfernung des deutlichen Sehens P.

Hieraus ergiebt sich, dass die Refraction bestimmt wird durch den anatomisch-physiologischen Zustand des dioptrischen Apparates, dass die Accommodation dagegen abhängig ist von einer physiologischen Muskelwirkung.

Die Refraction des Auges ist bekannt, wenn man R kennt, wird nun ausserdem P bestimmt, dann ist auch die Accommodationsgrösse gegeben. Sie wird ausgedrückt durch

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}.$$

In dieser Formel ist A die Brennweite einer Hülfslinse, welche man sich kraft der Accommodation zum dioptrischen Apparat hinzugefügt denken kann. Die Hülfslinse wird dabei als in der Luft befindlich angenommen, und zwar so, dass ihr vorderer Knotenpunkt zusammenfällt mit dem vorderen Knotenpunkt des dioptrischen Apparates des Auges. Deshalb misst man auch die Entfernungen R und P resp. des Fernpunktes r und des Nahepunktes p vom vorderen Knotenpunkt des Auges an, welcher $^1/_4$ Par. Zoll hinter der Hornhaut liegt.

In demselben Knotenpunkt nehmen wir ferner an, befinde sich auch die Hülfslinse, welche wie oben erklärt, die Ametropie corrigirt, so dass zur Bestimmung des Grades der Myopie oder Hypermetropie, ebenfalls von r an bis zum vorderen Knotenpunkt gerechnet wird.

Ein Paar Beispiele mögen dies verdeutlichen.

Der Fernpunkt eines myopischen Auges befinde sich in unendlicher Entfernung, wenn dasselbe bewaffnet ist mit einem $^1/_2$″ vor dem Hornhautscheitel, also $^3/_4$″ vor dem vorderen Knotenpunkt befindlichem Brillenglas von - $^1/_6$: seine Myopie beträgt also 1 : $6^3/_4$; das heisst: Lichtstrahlen müssen, um sich auf der Netzhaut zu vereinigen, ausgehen von einem $6^3/_4$″ vor dem vordersten Knotenpunkt gelegenen Punkte; oder auch: mit dem genannten Knotenpunkt muss, um die Myopie zu neutralisiren, der vordere Knotenpunkt einer in der Luft befindlichen Hülfslinse von - 1 : $6^3/_4$ zusammenfallen.

Der Fernpunkt eines hypermetropischen Auges befinde sich in unendlichem Abstand, wenn dasselbe bewaffnet ist mit einem $^1/_4$″ vor der Cornea, also $^1/_2$″ vor dem Knotenpunkt befindlichen Brillenglas = 1 : $7^1/_2$. Parallel auf dies Glas fallende Strahlen vereinigen sich also, das Auge weggedacht, 7″ hinter dessen Knotenpunkt; folglich: die Ametropie ist neutralisirt durch eine Linse von $^1/_7$, deren vorderer Knotenpunkt zusammenfällt mit dem vorderen Knotenpunkt des lichtbrechenden Apparates des Auges, und es besteht daher H = $^1/_7$.

Die Anomalien der Accommodation bestehen in Krampf und Paralyse der Accommodationsmuskeln. Könnte Presbyopie überhaupt eine Anomalie genannt werden, so würde sie gleichfalls zu den Accommodations-Anomalien gehören; da sie auf einer Beschränkung der Accommodationsbreite beruht. Diese Beschränkung indessen ist eine normale Lebenserscheinung und geht Hand in Hand mit der Zunahme der Jahre.

Der Astigmatismus von dem wir zu handeln haben, hat mit der Accommodation und ihren Anomalien nichts gemein. Wir können letztere daher hier bei Seite lassen. Nur ein Refractionsunterschied in den verschiedenen Meridianen des diop-

trischen Apparates, und daher in der Regel ein verschiedener Grad von Ametropie in verschiedenen Meridianen desselben Auges, charakterisirt den Astigmatismus.

Ausführlicher wurden die Refractions-Anomalien von mir besprochen in

Nederlandsch tijdschrift voor geneeskunde, D. II. 1858 bl. 465 e. v.

Archiv f. Ophthalmologie, herausgegeben von Arlt, Donders und von Graefe, B, IV., VI. und VII.

Ametropie en hare gevolgen. Utrecht 1860.

Eine Uebersicht davon gab Dr. Dor im Journal de la physiologie de l'homme et des animaux du docteur Brown Sèquard, unter dem Titel: Des différences individuelles de la réfraction de l'oeil.

II.

Aberration des Lichtes im Allgemeinen.

Lichtstrahlen, die in ihrer Verlängerung sich alle in einem Punkte schneiden, bilden homocentrisches [1]) Licht: sie haben ein gemeinschaftliches Centrum. Homocentrisch ist daher das Licht, welches von einem Punkte eines Gegenstandes divergirt; homocentrisch ist auch ein Bündel paralleler Lichtstrahlen, welche von einem in unendlicher Entfernung gelegenem Punkte stammen. Die Lichtstrahlen also, welche von einem Gegenstande ausgehend die Hornhaut treffen, bilden Kegel homocentrischen Lichtes. Allein wenn die Strahlen zwischen dem Gegenstande und dem Auge aus irgend einer Ursache mehr oder weniger von ihrem Wege abweichen, hören die Lichtkegel auf aus homocentrischem Licht zu bestehen.

Im Allgemeinem kann man sagen, dass homocentrisches Licht, wenn es an einer sphärischen Fläche gebrochen wird, homocentrisch bleibt; dass nämlich die Strahlen hinter der brechenden Fläche sich entweder wieder in einem Punkt

---

1) Listing, Beitrag zur physiologischen Optik. Göttingen 1845.

vereinigen, oder in einer solchen Richtung fortgehen, als ob sie sämmtlich geradewegs von einem vor der brechenden Fläche gelegenem Punkt herkämen.

Die Homocentricität ist aber nicht vollkommen geblieben. Die Strahlen nämlich schneiden sich nicht mehr vollkommen in einem Punkte, sondern nur nahezu. Diese Abweichung von der Homocentricität nennt man Aberration; und man unterscheidet hier zwei Aberrationen von verschiedener Art: die chromatische und die sphaerische. Die erste hängt ab von der Art des Lichtes, die zweite von der Form der brechenden Fläche.

Die chromatische Aberration ist die Folge einer Verschiedenheit in der Brechbarkeit des Lichtes. Strahlen, die parallel zur Achse der lichtbrechenden Fläche und zugleich in gleicher Entfernung von dieser Achse, die sphärische Fläche treffen, erleiden keine sphärische Aberration, und würden daher auch vollkommen auf einen und denselben Punkt gerichtet bleiben, wenn sie sämmtlich von gleicher Art wären. Strahlen von ungleicher Art dagegen, finden hierbei ihren Brennpunkt auf der Achse in verschiedenen Entfernungen von der brechenden Fläche, die violetten und blauen Strahlen in kleinerer, die rothen in grösserer Entfernung. Diese chromatische Abweichung besitzt nun nothwendiger Weise auch der dioptrische Apparat des Auges. Sie thut aber unter gewöhnlichen Umständen der Sehschärfe keinen Abbruch [1]). Wir lassen sie fernerhin unbeachtet, da sie mit unserm Gegenstand in keinem wesentlichen Zusammenhang steht.

Lichtstrahlen von gleicher Wellenlänge, und daher von gleicher Brechbarkeit, bilden homogenes Licht; dieses hat lediglich eine Farbe und heisst darum monochromatisch.

---

[1]) Helmholtz, Physiologische Optik in der allgemeinen Encyclopaedie der Physik, herausgegeben durch Gustav Karsten. Leipzig, 1856. 1 Lief. S. 137 u. f.

Fallen solche Strahlen parallel zur Achse, und in gleichem Abstand von der Achse auf eine sphärische Fläche, dann werden sie auch gleichmässig von der Achse weg-, oder nach ihr hin gebrochen und bleiben daher auf einen Punkt gerichtet: die Homocentricität ist vollkommen. Treffen sie aber, obwohl parallel zur Achse die Fläche in verschiedenen Entfernungen von der Achse, dann hören sie auf, genau nach einem Punkt gerichtet zu sein: je entfernter von der Achse sie die Fläche treffen, desto näher an der Fläche schneiden sie die Achse. Diese Abweichung wird sphärische Aberration genannt: sie ist die monochromatische Aberration (das heisst die Aberration von Strahlen gleicher Farbe) durch Brechung an einer sphärischen Fläche.

Eine monochromatische Aberration hat auch der dioptrische Apparat des Auges. Sie ist hier sogar ziemlich ansehnlich und in hohem Grade complicirt. Für unsern Zweck müssen wir unterscheiden:

a. eine Aberration, welche sich auf die Strahlen bezieht, welche in einem und demselben Meridian gebrochen werden.

b. eine Aberration, welche abhängt von Unterschieden in der Brennweite verschiedener Meridiane des lichtbrechenden Apparates.

Erstere behandeln wir nur vorübergehend. Die letztere ist der Gegenstand, der uns fernerhin beschäftigen wird.

Zuerst also, Strahlen, die vor dem Auge in einer Ebene liegen mit der Sehachse und daher in einem bestimmten Meridian gebrochen werden, vereinigen sich nicht vollkommen in einem Punkt. Bereits die Hornhaut veranlasst hier einige Aberration, welche durch die Linse vermehrt und in eigenthümlicher Weise complicirt wird, Was die Hornhaut anlangt, so sind alle ihre Meridian-Durchschnitte nahezu Ellipsen [1])

---

[1]) Knapp, Die Krümmung der Hornhaut des menschlichen Auges. Heidelberg 1859, S. 29.

und verursachen als solche sehr wenig Aberration; aber die Excentricität der Ellipsen ist doch zu gering, um die Aberration selbst für parallele Strahlen ganz aufzuheben. Das folglich bereits einigermaassen astigmatische Licht wird nun von der Linse gebrochen. Hier wird die Abweichung so complicirt, und ist individuell so verschieden, dass es zu weit führen würde, hierauf genauer einzugehen. Es sei genug zu bemerken, dass zuerst die brechenden Flächen der Linse nicht vollkommen centrirt sind mit denen der Cornea, dass ferner die Brechung in den verschiedenen zu einem und demselben Meridian gehörenden Sectoren und Faser-Gruppen der Linse nicht vollkommen gleich ist, dergestalt sogar, dass jeder Sector ein Bildchen giebt, welches mit dem des gegenüberstehenden nicht genau zusammenfällt; dass endlich jedes Bildchen eines jeden Sectors für sich selbst bereits seine Aberration besitzt. Von alledem kann man sich überzeugen durch sorgfältige Beobachtung der durch ungenaue Accommodation vervielfachten Bilder kleiner Gegenstände [1]).

Dies alles beweist, dass die Aberration auch in einem und demselben Meridian äusserst complicirt ist, aber nichtsdestoweniger ist sie in der Regel sehr gering. Monochromatisches homocentrisches Licht bildet nämlich genau in der Brennweite eines und desselben Meridians ein so kleines und an seiner Peripherie so schwaches Zerstreuungs-Bildchen, dass es, obwohl bei einem Lichtpunkt als Irradiation sehr merkbar, unter gewöhnlichen Umständen der Sehschärfe keinen Abbruch thut. Wir können daher das Bildchen als einen Punkt betrachten und die Aberration der Strahlen in einem und demselben Meridian, die auch einer Correction nicht zugänglich ist (unregelmässiger

---

[1]) Ametropie en hare gevolgen bl. 108 u. folg.

Astigmatismus), fernerhin vernachlässigen, während wir nun behandeln wollen

b. die Aberration in Folge von Ungleichheit des dioptrischen Apparates in seinen verschiedenen Meridianen, den regelmässigen Astigmatismus.

Rev. Dr. Whewell hat, wie Mackenzie [1]) mittheilt, das Gebrechen, welches Airy von seinem linken Auge beschrieb, mit dem Namen Astigmatismus bezeichnet. Dies Wort ist abgeleitet von *α* priv. und *στίγμα*, von *ςτίζω*, pungo, und soll ausdrücken dass Strahlen, die von einem Punkt ausgehen, sich nicht wieder in einem Punkt vereinigen. Die gesammte monochromatische Abweichung im Auge kann man daher Astigmatismus nennen, und diese Bezeichnung habe ich in meinem Werkchen über Ametropie gebraucht. So weit nun die Abweichung abhängt von einer Krümmungsverschiedenheit verschiedener Meridiane, ist der Astigmatismus regelmässig und einer Correction zugänglich. Insofern dagegen Unregelmässigkeiten in einem und demselben Meridian, welche hauptsächlich von der Linse abhängen mit im Spiele sind, und zur Polyopia uni-ocularis etc. etc. Veranlassung geben, mag der Astigmatismus unregelmässig heissen. Im Verfolg wird unter Astigmatismus, wenn das Wort ohne nähere Bezeichnung gebraucht wird, regelmässiger Astigmatismus verstanden.

III.

Regelmässiger Astigmatismus im normalem Auge.

Bestimmt man nach einander die grösste Entfernung, in welcher feine horizontale und feine verticale Drähte oder Striche scharf gesehen werden, so erhält man ungleiche Entferfernungen. Bei weitem, die meisten Augen finden für horizontale Striche einen kürzeren Abstand als für verticale.

---

1) A practical treatise on the diseases of the Eye. London 1854, p. 927.

Dieselbe Erscheinung wiederholt sich bei Bestimmung des Nahepunktes. — Man stelle diese Versuche mit jedem Auge einzeln an. Um Entfernungen zu erhalten, die sich auf dem Optometer ablesen lassen, benutze man dazu nöthigenfalls eine positive Linse und sorge dafür, dass ihre Achse mit der Augenachse zusammenfalle.

Zwei Drähte, der eine vertical, der andere horizontal, die sich in einer Ebene kreuzen, werden nicht gleichzeitig beide scharf gesehen. Sieht man den horizontalen scharf, dann muss sich der verticale, um eben so deutlich zu erscheinen, vom Auge entfernen; accommodirt man für den verticalen, dann muss man den horizontalen, um ihn eben so scharf zu sehen, dem Auge nähern. Diese Erscheinung zeigt sich bei jedem Grad von Accommodationsspannung.

Diese Versuche beweisen, dass die Punkte der brechenden Flächen nicht symmetrisch um eine Achse angeordnet sind. Die Assymmetrie ist der Art, dass die Brennweite im verticalen Meridian kürzer ist, als im horizontalen. Um nämlich eine verticale Linie scharf zu sehen, müssen die Strahlen, die aus jedem Punkt der Linie in einer horizontalen Ebene divergiren, auf der Netzhaut zur Vereinigung gebracht werden; es ist nicht nothwendig, dass auch die in einer verticalen Ebene divergirenden Strahlen ebenfalls in einem Punkt versammelt werden, da die in verticaler Richtung noch bestehenden Zerstreuungsbilder einander in einer verticalen Linie decken. Umgekehrt, um eine horizontale Linie scharf zu sehen, ist es nur nothwendig, dass die in einer verticalen Ebene divergirenden Lichtstrahlen sich in einem Punkte der Netzhaut vereinigen. Horizontale Striche werden, wie wir bemerkten, auf geringere Entfernung scharf gesehen als verticale: folglich werden die in einer verticalen Ebene gelegenen Strahlen, die im verticalen Meridian des Auges gebrochen werden, eher zur Vereini-

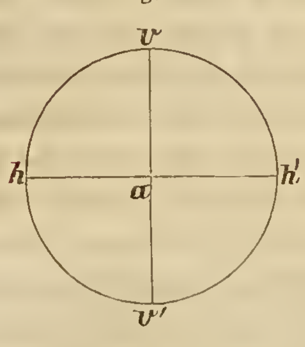
nigung gebracht, als die in einer horizontalen Ebene gelegenen von gleicher Divergenz; und der verticale Meridian-Durchschnitt hat daher eine kürzere Brennweite als der horizontale.

Die Richtigkeit dieser Betrachtung ergiebt sich ferner aus der Form der Zerstreuungsbildchen eines Lichtpunktes. Bei genauer Accommodation ist das Zerstreuungsbildchen sehr klein und nahezu rund, während ein näher gelegener Punkt in der Breite ein entfernterer in der Höhe ausgedehnt erscheint.

Die Bedeutung dieser Erscheinung muss scharf aufgefasst werden und scheint daher eine nähere Erklärung zu erfordern.

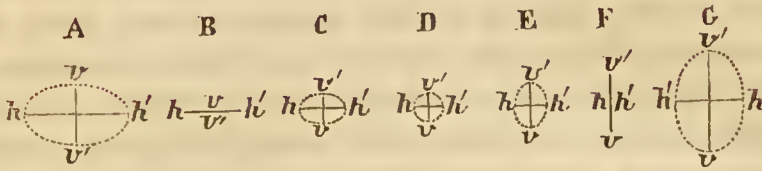
Man denke sich die ganze Abweichung des Lichtes im Auge, hervorgebracht durch eine einzige convexe brechende Fläche, mit kleinstem Krümmungsradius im verticalen, grösstem Krümmungsradius im horizontalen Meridian. Diese beiden sind dann die Hauptmeridiane. Durch eine centrale runde Oeffnung fig. 1 *vv'* *hh'* falle auf diese Fläche ein von einem in der Sehachse gelegenem Punkte ausgehender Strahlenkegel; von diesem Kegel betrachten wir nur diejenigen Strahlen, welche in der verticalen Ebene *vv'* und in der horizontalen Ebene *hh'* liegen und deren äusserste die Punkte *vv'* und *hh'* sind.

Fig. 1.



Nach der Brechung nähern sich beide der Augenachse (welche lothrecht auf die Fläche der Zeichnung durch a geht), *vv'* aber schneller als *hh'*. Vor der Vereinigung liegen sie desshalb auf dem Durschnitte, so wie in Fig. 2 A, und wenn *vv'* in einen Punkt zusammentreffen B, so sind *hh'* noch nicht zur Vereinigung gekommen. Weiterhin findet man ferner *vv'* bereits überkreuzt, *hh'* einander

Fig. 2.



genähert C, D und E; ferner *hh'* in einem Punkt vereinigt und *vv'* nach der Ueberkreuzung weiter auseinander gegangen F; endlich beide überkreuzt G. Der Brennpunkt von *vv'* liegt also am weitesten nach vorn, der von *hh'* am weitesten nach hinten auf der Achse. Der Raum zwischen beiden Punkten, in welchem Strahlen von verschiedenen Meridianen sich überkreuzen, ist von Sturm: intervalle focal, Brennstrecke, genannt worden.

Obenstehende Figuren zeigen nun deutlich, welche Form aufeinanderfolgende Durchschnitte des Lichtkegels zeigen werden. In der Mitte der Brennstrecke D wird dieselbe nahezu rund sein und nach vorn durch eine liegende Ellipse C mit zunehmender Excentricität in eine horizontale Linie B, nach hinten durch eine stehende Ellipse E in eine verticale Linie F. übergehen, während vor der Brennstrecke eine grössere liegende A, hinter der Brennstrecke eine grössere stehende Ellipse G sich befinden wird.

Wie gesagt, stimmen hiermit die Zerstreuungsbildchen des Auges im Allgemeinen überein. Sie finden also ihre Erklärung, wenn der dioptrische Apparat des Auges als eine einzige brechende Fläche mit verschiedenem Krümmungsradius in verschiedenen Meridianen betrachtet wird, und es wird sich später ergeben, dass wir dazu berechtigt sind.

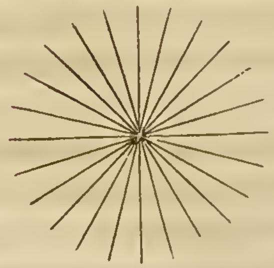
Die Form der durch Brechung an einer derartigen Fläche entstehenden Zerstreuungsbilder erklärt ferner vollkommen, was wir eben über die Verschiedenheit der Entfernung gesagt haben, in welcher Linien von verschiedener

Richtung deutlich gesehen werden. Horizontale und verticale Striche nämlich werden scharf gesehen, wenn die Zerstreuungsbilder aller Punkte des Striches horizontale resp. verticale Linien bilden, welche einander auf dem Striche decken; und diess wird dann der Fall sein, wenn Anfang resp. Ende der Brennstrecke der percipirenden Netzhautschicht entsprechen.

Der leichteren Auffassung halber haben wir bisher angenommen, dass das Maximum der Krümmung in den verticalen, das Minimum in den horizontalen Meridian falle. Der Regel nach ist dies denn auch nahezu der Fall. Aber von dieser Regel finden sich, besonders bei geringen Graden von Astigmatismus, zahlreiche Ausnahmen. Nicht selten ist die Abweichung von der gewöhnlichen Richtung sehr ansehnlich; es kommt sogar vor, dass das Krümmungs-Maximum nahezu mit dem horizontalen, das Minimum mit dem verticalen Meridian zusammenfällt. So fand es Thomas Young, der Entdecker des Astigmatismus, in seinem eignem Auge, und auch mir sind bereits drei Fälle der Art vorgekommen.

Im Allgemeinen macht es keine Schwierigkeit, die Richtung der Hauptmeridiane (die des Krümmungs-Maximum und Minimum) zu bestimmen. Die Versuche, an denen oben das Bestehen von Astigmatismus nachgewiesen wurde, geben dazu die Mittel an die Hand. Wäre man sich seiner Accommodation so vollkommen bewusst, dass

Fig. 3.



man mit Genauigkeit angeben könnte, welche Linien nebenstehender Figur bei dem Maximum, welche bei dem Minimum der verlangten Accommodationsspannung ganz scharf gesehen werden, so würden damit die Richtungen des Krümmungs-Maxi-

mum und Minimum bekannt sein. Dieses Bewusstsein ist aber selten sehr genau.

Ein viel sichereres Erkennungszeichen ist daher die Richtung, in welcher das Zerstreuungsbildchen eines Lichtpunktes ausserhalb der beiden Grenzen des deutlichen Sehens verlängert erscheint. Bei aufrechter Kopfhaltung, und das Auge durch Gläser auf eine Myopie von etwa $^1/_9$ gebracht, bringe man einen Lichtpunkt (z. B. eine sehr kleine Oeffnung in einer schwarzen Platte, welche nach dem Himmel oder nach der Glocke einer Lampe gerichtet ist) in einer horizontalen Ebene nacheinander vor oder hinter die Grenze des deutlichen Sehens: derselbe zeigt sich dann bei diesen beiden Stellungen in entgegengesetzten Richtungen verlängert, in der Weise, dass die längste Ausdehnung bei der ersten Stellung der Richtung des Krümmungsminimum, bei der zweiten der Richtung des Krümmungsmaximum entspricht.

Schärfer noch ist das Resultat, wenn man das Auge, durch ein Glas (dessen Achse mit der Sehachse zusammen fallen muss) leicht myopisch gemacht (z. B. $^1/_{60}$), nach einem entfernten Lichtpunkt (eine kleine runde dem Lichte zugekehrte Oeffnung in einem schwarzen Schirm) sehen lässt, und nun ein negatives Glas (z. B. - $^1/_{30}$) abwechselnd davorhält und wieder wegnimmt. Das Zerstreuungsbildchen wird dann jedesmal in zwei verschiedenen Richtungen ausgedehnt, — bei Zuhülfenahme von - $^1/_{30}$ in dem Meridian des Krümmungs-Minimum, ohne dieses negative Glas in dem des Krümmungs-Maximum. Bei schneller Abwechslung im Dazu- und Wiederwegnehmen des Glases werden beide Bildchen (durch die Nachdauer des Eindrucks) anhaltend und zugleich gesehen, und erscheinen dann manchmal in der Form eines Kreuzes.

Dieser Versuch ist ferner sehr dazu geeignet, geringe Grade von Astigmatismus nachzuweisen. Vollständige Abwesenheit desselben gehört, wenn sie überhaupt vorkömmt,

gewiss zu den grössten Seltenheiten. Zweifelhaft kann das Vorhandensein bei dem beschriebenen Versuch manchmal noch bleiben, wenn der unregelmässige Astigmatismus ungewöhnlich entwickelt und die Zerstreuungsbildchen demzufolge sehr complicirt sind. Aber auch für diese Fälle war ein später zu beschreibender, mit Hülfe eines schwachcylindrischen Glases anzustellender Versuch schliesslich doch entscheidend.

Die Ursache des regelmässigen Astigmatismus ist hauptsächlich in der Cornea zu suchen. Zahlreiche Messungen haben bewiesen, dass die Cornea in ihren verschiedenen Meridianen einen verschiedenen Krümmungsradius besitzt; und was für den dioptrischen Apparat im Allgemeinen gilt, dass nämlich das Krümmungs-Maximum durchgehends ungefähr dem verticalen Meridian entspricht, das ist für die Cornea, für sich allein genommen, ebenfalls zutreffend. Es steht also fest, erstens, dass die Cornea ihrer Form wegen Astigmatismus verursacht, und zweitens, dass, wenn auch die Krystalllinse einen Einfluss ausübt, im Allgemeinen doch die Wirkung der Cornea überwiegt.

Von der Linse hängt der unregelmässige Astigmatismus ab; ihr verdanken die Polyopia uniocularis und die Strahlen des Zerstreuungsbildes eines Lichtpunktes ihren Ursprung. Der directe Beweis wird dadurch geliefert, dass im Zustande von Aphakie, wenn nämlich die Linse vollkommen aus dem Auge entfernt ist, alle diese Erscheinungen von unregelmässigem Astismatismus aufgehoben sind. In zahlreichen Fällen habe ich mich davon überzeugt. Die Grenzen der Focal-Raumes und die Uebergangsformen des Zerstreuungsbildes werden bei Aphakie mit einer Genauigkeit und Schärfe angegeben, welche den strengsten Anforderungen der Theorie genügt.

Inzwischen verändert die Linse auch den regelmässigen

Astigmatismus, sei es durch die Form ihrer Oberflächen, sei es durch schiefe Lage. Darum entspricht der regelmässige Astigmatismus des gesammten Apparates weder hinsichtlich der Richtung noch des Grades vollkommen der Hornhaut. Wir werden nachher einen merkwürdigen Fall erwähnen, in dem ein bedeutender Astigmatismus der Hornhaut durch eine entgegengesetzte Wirkung der Linse fast ganz aufgehoben wurde. — Umgekehrt kann auch die Linse in demselben Sinne wirken wie die Hornhaut und den Astigmatismus steigern.

Verhältnisse, welche mit denen des regelmässigen Astigmatismus übereinkommen, kann man hervorbringen, indem man eine gewöhnliche sphärische Linse mit einer cylindrischen verbindet. Es ist sehr lehrreich, die hierbei entstehenden Erscheinungen auf einem Schirm anschaulich zu machen. Eine cylindrische brechende Fläche giebt Abweichung in der lothrecht auf der Achse des Cylinders stehenden Ebene. In Ebenen, die durch die Achse gelegt werden, weichen die Strahlen nicht von ihrer Richtung ab. Eine positiv cylindrisch geschliffene Linse versammelt daher paralleles homocentrisches Licht in einer Linie, deren Richtung mit der der Achse des Cylinders übereinkommt. Verbindet man nun eine schwache positiv cylindrische Linse derart mit einer starken positiven sphärischen, dass die Achse dieser letzteren die horizontal gerichtete Achse des Cylinders unter einem rechten Winkel schneidet, dann werden von ursprünglich parallelen Strahlen diejenigen, welche im verticalen Meridian liegen, durch die Wirkung der cylindrischen Linse convergirender und daher in kürzerer Entfernung hinter der Linse vereinigt werden, als die im horizontalen Meridian einfallenden Strahlen, da in dieser Richtung die cylindrische Linse ohne Einfluss bleibt. Der Effect hiervon ist, dass im Vereinigungspunkt der letzt-

genannten Strahlen die bereits überkreuzten Strahlen des verticalen Meridians eine Querlinie bilden, und dass umgekehrt im Vereinigungspunkt dieser letzteren durch die noch nicht vereinigten Strahlen des horizontalen Meridians eine horizontale Linie zu Stande kommt. Wir bekommen daher hierbei ebenso, wie durch die Brechung an einer asymmetrischen Fläche eine durch zwei lineare, lothrecht aufeinander stehende Zerstreuungsbildchen begrenzte Brennstrecke, innerhalb welcher die Zerstreuungsbilder, wenn die Strahlen durch eine centrale kreisförmige Oeffnung auf die Linse auffallen, mit den oben (fig. 2) abgebildeten übereinkommen.

Der Astigmatismus, als Effect einer positiv cylindrischen Linse, kann durch eine zweite von derselben Brennweite aufgehoben werden, sowohl durch eine negative, deren Achse parallel der ersteren ist, als auch durch eine positive, deren Achse lothrecht auf der der ersteren steht. Ebenso kann der Astigmatismus des Auges durch eine cylindrische Linse corrigirt werden; und nach dem oben in §. 1 zur Bestimmung des Grades der Refractions-Anomalien aufgestelltem Princip bestimmt die Brennweite der hierzu erforderlichen cylindrischen Linse den Grad des Astigmatismus: er ist umgekehrt proportional zu der in Pariser Zoll ausgedrückten Brennweite der corrigirenden Linse.

So lange der Astigmatismus die Sehschärfe nicht beeinträchtigt, nennen wir ihn normal. Abnorm ist er, sobald er störend wirkt. Beträgt er $^1/_{40}$ oder mehr, so muss er als abnorm betrachtet werden.

Der Entdecker der Asymmetrie des dioptrischen Apparates des Auges, Thomas Young[1]), nahm dieselbe bei sich selbst

1) Philos. Transactions for 1793, Vol. LXXXIII, p. 169, und Miscellaneous Works of the late Thomas Young, edited by Peacock. London 1855. T. I. p. 26.

war. Dieser ausgezeichnete Gelehrte und Naturforscher, dessen glänzende Verdienste auf dem Gebiet der physiologischen Optik erst durch Helmholtz nach Verdienst gewürdigt worden sind, war selbst myopisch. Bei Accommodationsruhe, folglich bei Einstellung für den Fernpunkt, sah er in seinem Optometer die Doppelbilder des Drahtes sich in horizontaler Richtung in 7 Zoll, in verticaler dagegen in 10 Zoll überkreuzen. Diess erweisst bei Reduction der englischen Zoll in Pariser einen Astigmatismus von $^1/_{25}$; und es ist daher befremdend, dass Young, wie er selbst erklärt, keine Seh-Störungen dadurch empfunden hat. Der Opticus Cary, dem Young seine Entdeckung mittheilte, erklärte ihm, bereits mehrmals gefunden zu haben, dass Kurzsichtige besser sehen, wenn die erforderlichen Gläser in einer bestimmten schiefen Richtung vor das Auge gehalten werden, wobei, wenigstens wenn starke Gläser nothwendig sind, ein gewisser Grad von Astigmatismus corrigirt werden kann. — Young studirte auch schon die Form der Zerstreuungsbilder und bildete sie ab. Den Grund des Astigmatismus suchte er in der Linse, weil derselbe fortbestand, wenn er seine Cornea unter Wasser tauchte und ihre Wirkung durch eine Convex-Linse ersetzte. Er nahm daher einen schiefen Stand der Linse als Ursache an und glaubte sogar aus den Zerstreuungsbildern eines Lichtpunktes schliessen zu dürfen, dass auch die beiden Oberflächen seiner Linse nicht centrirt wären. — In zweierlei Hinsicht zeigte also das Auge von Young ein ausnahmsweises Verhalten: die Brechung war stärker im horizontalen, als im verticalen Meridian, und die Ursache lag in der Linse.

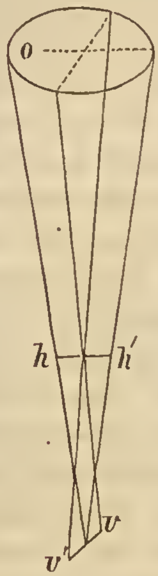
Fick[1]) fand bei sich selbst einen Astigmatismus von $^1/_{319}$, Helmholtz[2]) von $^1/_{119}$. Brücke konnte, wie ich glaube, überhaupt keinen wahrnehmen. Auf meinem rechten Auge beträgt er $^1/_{100}$, auf meinem linken $^1/_{95}$. Die meisten scharfsichtigen Augen haben nicht mehr als $^1/_{140}$ bis $^1/_{60}$. Beträgt er mehr,

1) Zeitschrift für ration. Medizin. N. F. VI. S. 83.
2) Physiol. Optik. l. c. p. 145.

dann wird unter manchen Umständen (vergl. den folgenden §.) die Sehschärfe bereits beeinträchtigt.

Die Theorie der Brechung an asymmetrischen Flächen wurde bereits vor vielen Jahren von Sturm[1]) entwickelt. Er zeigte, dass, wenn auf ein sehr kleines ringförmig begrenztes Stückchen einer gekrümmten asymmetrischen Fläche ein homocentrisches Lichtbündel fällt, dieses nach der Brechung nicht homocentrisch bleibt, sondern eingehüllt ist in eine gewisse windschiefe Fläche (surface gauche), welche, ausser durch die kleine Oeffnung *o*, begrenzt wird durch zwei sich im Raume überkreuzende Linien *hh'* und *vv'*, die nicht in einer Ebene liegen: wird *hh'* in der Ebene der Figur gedacht, so ist *vv'* als perspectivische Projection einer senkrecht zu derselben Ebene stehenden Linie zu betrachten. Der Raum zwischen *hh'* und *vv'* ist die Brennstrecke.

Fig. 4.



Oben haben wir bemerkt, dass die Formen der Zerstreuungsbilder des dioptrischen Apparates des Auges, abgesehen von besonderen Complicationen, im Allgemeinen den Anforderungen obiger Theorie entsprechen. Es verdient nun näher untersucht zu werden, worin die Asymmetrie des Apparates besteht.

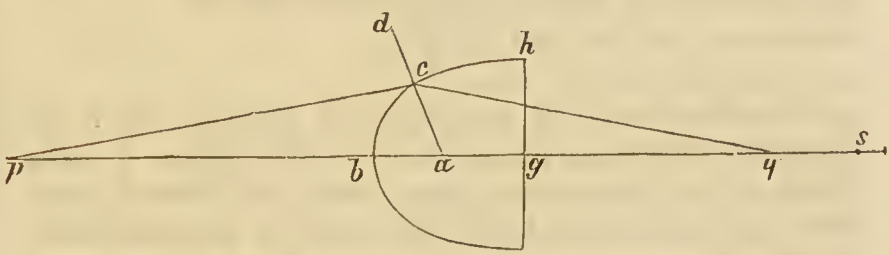
Zuerst also, die Cornea ist asymmetrisch. Sie kann, wie zahlreiche Messungen beweisen, betrachtet werden als das Scheitel-Segment einer Ellipsoide mit drei ungleichen Achsen. Die lange Achse entspricht der Augenachse, die beiden kurzen Achsen liegen in der Regel nahezu horizontal und vertical. Alle durch die lange Achse gelegten Meridian-Durchschnitte sind nahezu Ellipsen, aber von ungleicher Excentricität und ungleichem Krümmungsradius[2]). Maximum und Minimum des Krümmungs-

1) Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris. T. XX. p. 554, 761, 1238, und Poggendorff's Annalen, B. 65, 116. Vergl. Fick, Mediz. Physik, S. 327, woraus obenstehende Figur entlehnt ist.

2) Vergl. Knapp l. c.

radius entsprechen den Hauptschnitten, welche durch die lange und eine der kurzen Achsen gelegt sind: das Maximum durchgehends dem horizontalen, das Minimum dem vertikalen Hauptschnitt. Auf ein derartiges Ellipsoid nun ist die Sturm'sche Theorie anwendbar. Dass dabei eine Brennstrecke entsteht und welche Form deren lothrechte Durchschnitte haben, haben wir oben anschaulich dargestellt. Wir glauben davon noch eine eingehendere Entwickelung nach Helmholtz aufnehmen zu dürfen. In Fig. 5 sei die Linie *g b* eine Achse der

Fig. 5.



Ellipsoide, in deren Verlängerung bei *p* der Lichtpunkt sich befindet. Die Ebene der Zeichnung sei ein Hauptschnitt der Ellipsoide, so das noch eine zweite Achse *g h* in dieser Ebene liegt. Die Normalen aller Punkte einer ellipsoiden Fläche, die durch einen Hauptschnitt getroffen werden, liegen ebenfalls im Hauptschnitt der Ellipsoide. Und da nun ein gebrochener Strahl in der Ebene bleibt, welche er mit der Normalen einschliesst, so bleiben Strahlen, die in einem Hauptschnitt einfallen, auch nach der Brechung in diesem Hauptschnitt. Wenn also aus *p* ein Strahl auf dem Punkt *c* fällt, so bleibt der gebrochene Strahl in der Ebene der Zeichnung (worin der Strahl und die Lothrechte *d a* liegen) und schneidet die Achse *b g* in einem ihrer Punkte *q*. Der gebrochene Strahl wird dabei genauer bestimmt durch das Gesetz, dass

$$\sin a\ c\ q = n.\ \sin p\ c\ d$$

sein muss. Dieses Gesetz ist dasselbe, wie für symmetrische oder Rotations-Flächen. Die nahezu lothrecht bei *b* auffallenden Strahlen haben also einen gemeinschaftlichen Vereinigungs-

Punkt auf der Achse, dessen Entfernung abhängt von dem Krümmungsradius r der krummen Linie $b\ c\ k$ in b. Liegt p in unendlicher Entfernung, so ist die hintere Brennweite für den gegebenen Hauptschnitt

$$F'' = \frac{n\ r'}{n - 1}.$$

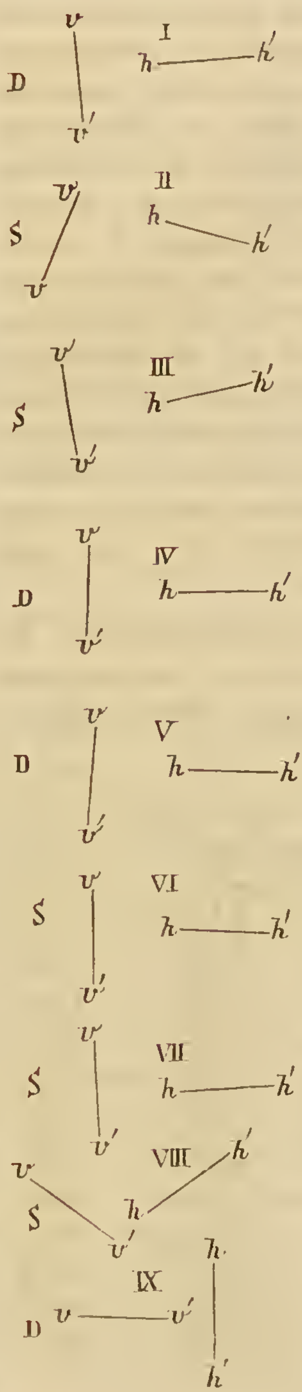
Für die Strahlen, die von p ausgehend im andern Hauptschnitt verlaufen, welcher durch $b\ q$ und die dritte Achse gelegt ist, verhält sich alles auf dieselbe Weise; nur hat der Krümmungsradius im Scheitel der Fläche einen andern Werth und die Brennweite in diesem zweiten Hauptschnitt ist

$$F'' = \frac{n\ r''}{n - 1}.$$

Der Strahl $p\ q$ wird also durch die Strahlen, die in der Ebene der Zeichnung unmittelbar neben ihm liegen, in einem Punkt, z. B. q, geschnitten; dagegen durch die Strahlen, die in einer senkrecht auf der Ebene der Zeichnung gelegenen Fläche ihm benachbart sind, nicht in demselben Punkt q, sondern in einem andern, z. B. in s.

Es ist nun ersichtlich, dass in dem der Achse angehörendem Punkte q die Strahlen, die in einer lothrecht auf der Zeichnung stehenden Ebene liegen, noch eine lineare Ausbreitung in dieser Ebene besitzen; dass dagegen die Strahlen, die in der Ebene der Zeichnung liegen und sich in q vereinigen, wenn sie den Punkt s der Achse erreichen, wieder eine lineare Ausbreitung haben werden: in q und s liegen also die Grenzen der Brennstrecke. — Aus der oben gegebenen anschaulichen Darstellung kann dies alles bereits abgeleitet werden. Aber jetzt erst erhellt, was oben absichtlich bei Seite gelassen wurde, dass in diese Betrachtung nur die Strahlen aufgenommen sind, welche mit den beiden Hauptschnitten des ungleichachsigen Ellipsoids zusammenfallen. Denn nur in den Hauptschnitten gehen die Normalen durch die Hauptachse; in allen andern Meridian-Durchschnitten liegen die Normalen ausserhalb der Achse, und werden folglich die auffallenden Strahlen nicht in einer Ebene gebrochen in welcher die Hauptachse liegt und schneiden sich daher auch

Fig. 6.



nicht in einem Punkt der Achse. — Es ergiebt sich hieraus, dass wir uns nicht vorstellen dürfen, dass in der Brennstrecke eine Reihe von Brennpunkten auf der Achse läge. Dies gilt nur für den Anfang und das Ende derselben. Das Bündel ist, wie Sturm lehrte, eingeschlossen in eine windschiefe Fläche, und dabei gerade schneiden sich alle in den verschiedenen Meridianen gebrochenen Strahlen in den gekreuzten Linien, welche den Anfang und das Ende der Brennstrecke begrenzen, und kommen die früher beschriebenen Uebergangsformen der Durchschnitte des Lichtbündels in der Brennstrecke zu Stande. (Weiteres über die Theorie siehe bei Sturm, l. c.)

Die Form der Cornea lässt erwarten, dass sie für sich selbst einen mit dem hier beschriebenen vollkommen übereinstimmenden Astigmatismus hervorbringen müsse. Ich habe diess durch Untersuchungen bestätigt gefunden. Dazu habe ich Fälle ausgewählt, in denen wegen Cataracta congenita die Linse durch wiederholte Discisionen vollständig zur Resorption gebracht (so dass von einer Formveränderung der Cornea in Folge der Operation keine Rede sein konnte) und bei denen die Pupille vollkommen rund geblieben war. Ohne Ausnahme

wurden von diesen Augen die Grenzen der Brennstrecke als dünne Linien und die Formveränderungen der Zerstreuungsbilder übereinstimmend mit der Theorie recht scharf angegeben. Aus der Richtung der Linien, durch welche die Brennstrecke begrenzt ward, waren Maximum und Minimum der Krümmung unmittelbar abzuleiten: Fig. 6 zeigt die in Fällen von Aphakie bei jugendlichen Individuen gefundenen Richtungen; D bezeichnet ein rechtes, S ein linkes Auge; *hh'* ist das Zerstreuungbild an der vorderen, *vv'* an der hinteren Grenze der Brennstrecke. Es ergiebt sich hieraus, dass nur einmal (IX) der Krümmungsradius im verticalen Meridian grösser war als im horizontalen, einmal (VIII) musste er in diesen Meridianen nahezu gleich sein, da *hh''* und *vv''* jede einen Winkel von ungefähr 45° mit ihnen bilden, während in den 7 übrigen Fällen der verticale Meridian ersichtlich einen kleineren Krümmungsradius hatte, 4 mal sogar beinahe mit dem kleinsten zusammenfiel.

Zu demselben Resultat führte die ophthalmometrische Bestimmung der Krümmungsradien der Cornea in einer horizontal und vertical durch die Gesichtslinie gelegten Ebene. Man betrachte untenstehende Tafel.

Beobachter.		ϱ^0 hor. mm.	ϱ^0 vertic. mm.	F'' hor. in Pariser Zoll.	F'' vertic. in Pariser Zoll.	As = 1:
1	Donders und Doijer.	7,74	7,74	1,1356	1,1356	∞
2		8,20	8,12	1,2031	1,1914	88
3		8,34	8,19	1,2237	1,2107	85
4		7,23	7,23	1,0608	1,0608	∞
5		8,27	8,30	1,2134	1,2178	- 250
6		7,73	7,69	1,1342	1,1283	160
7		8,15	7,94	1,1958	1,1650	34
8		8,08	7,81	1,1855	1,1457	29
9		8,02	7,92	1,1767	1,1626	76
10		7,42	7,30	1,0887	1,0711	50
11		7,49	7,51	1,0987	1,1019	- 280
12		7,49	7,45	1,0987	1,0931	160
13		7,84	7,46	1,1503	1,0946	16,9
14		7,75	7,33	1,1371	1,0755	14,9
15		7,60	7,53	1,1151	1,1048	89
16		7,55	7,60	1,1078	1,1151	- 127

Beobachter.		ϱ^0 hor. mm.	ϱ^0 vertic. mm.	F'' hor. (in Pariser Zoll)	F'' vertic. (in Pariser Zoll)	As. = 1:
16		7,80	7,91	1,1445	1,1605	- 62
17		8,07	8,26	1,1840	1,2120	- 40
18	Knapp.	7,23	7,385	1,0608	1,0835	- 38
19		7,22	7,08	1,0593	1,0388	40
20		7,74	7,71	1,1356	1,1313	220

In der zweiten Kolonne sind die für die horizontalen, in der dritten die für die verticale Ebene gefundenen Krümmungsradien verzeichnet, ausgedrückt in mm; die vierte und fünfte Kolonne enthalten die hinteren Brennweiten F'' der Cornea in den beiden Ebenen, berechnet nach der Formel

$$F'' = \frac{n\,r}{n - 1},$$

wobei $n = 1{,}3365$ angenommen ist. Sie sind in Pariser Zoll ausgedrückt und daraus ist nach der Formel

$$f' = \frac{F' f''}{f'' - F''}$$

die Brennweite einer cylindrischen Linse berechnet, durch deren Verbindung mit dem horizontalen Meridian, dessen hintere Brennweite zusammenfällt mit dem Brennpunkt des verticalen Meridians. In dieser Formel ist F' ($= F'' : n$) die vordere Brennweite der Hornhaut in der Horizontal-Ebene, f'' die hintere Brennweite in der Vertical-Ebene, f' die Entfernung zwischen der Hornhaut-Ebene und einem auf der Achse gelegenen Punkt, auf welchen die Strahlen in einer Horizontal-Ebene gerichtet sein müssen, um im Brennpunkt der Vertical-Ebene vereinigt zu werden. Ist der Krümmungsradius in der Horizontal-Ebene grösser als in der verticalen, dann ist $f'' < F''$, und daher f' negatif, was bedeutet, dass die Strahlen nach einem hinter der Cornea gelegenen Punkt convergiren müssen und dass die cylindrische Linse daher eine positive sein muss. Ist der Krümmungsradius in der Vertical-Ebene grösser, dann ist das Umgekehrte der Fall und die cylindrische Linse muss in diesem Fall negativ sein. Ist daher f' negativ, dann ist eine positive Linse nöthig und umgekehrt. Das negative Vorzeichen

ist in der Tafel dann gesetzt, wenn eine negative Linse nöthig war. Uebrigens ergiebt die Rechnung, dass (die Linse unmittelbar an der Hornhaut gedacht) eine negative, welche die Brennweite der stärksten Krümmung in die der schwächsten verwandeln soll, dieselbe Brennweite haben muss, wie eine positive, die das Umgekehrte vermag.

Aus der Tafel ergiebt sich zuerst, dass in 15 von uns untersuchten Fällen nur 3 mal im horizontalen Meridian ein kleinerer Radius gefunden wurde als im verticalen, und dass dabei jedesmal der Unterschied äusserst klein war. In den 5 von Knapp untersuchten Fällen kamen dagegen nicht weniger als 3 vor, in denen die Horizontal-Ebene einen kleineren Krümmungsradius hatte als die verticale. Ich halte diess für zufällig, um so mehr, weil wir noch eine grössere Anzahl Hornhäute gemessen haben, worunter, so viel ich mich erinnere (die Notizen gingen zufällig verloren), kaum einige mit kleinerem Radius im horizontalen Meridian waren.

Was die einzelnen Fälle angeht, so sieht man, dass in 20 Fällen nur 5 mal der Astigmatismus der Cornea mehr als $^1/_{40}$ betrug, das will sagen, dass zur Compensation der Differenz der Brennweite in der Vertical- und Horizontal-Ebene eine cylindrische Linse von weniger als 40 Zoll Focaldistanz erforderlich war. In der Regel war der Astigmatismus viel geringer. Dabei ist noch zu bemerken, dass No. 14 mit einem Astigmatismus der Cornea von $^1/_{14,9}$ eine ansehnliche, durch eine cylindrische Linse zu verbessernde Herabsetzung der Sehschärfe hatte, was vielleicht auch bei andern der Fall war. No. 13, das linke Auge derselben Person, welcher auch No. 14 angehört, ist das merkwürdige Auge, worin bei bedeutendem Astigmatismus der Cornea der gesammte Apparat (wegen Compensation durch die Linse) nur einen geringen Grad zeigte, welcher der Sehschärfe kaum Abbruch that.

Im Allgemeinen lehren übrigens die erhaltenen Resultate, dass der Astigmatismus der Cornea nicht viel von dem des gesammten Apparates abweicht, und dass bei beiden das Krümmungsmaximum viel seltener im horizontalem als im verticalem Meridian gefunden wird.

Ich habe es, da ich davon kein brauchbares Resultat erwartete, unterlassen, für jedes dieser Augen im Besondern den von der Hornhaut ausgehenden Astigmatismus mit dem des dioptrischen Apparates zu vergleichen. Um nämlich aus der gefundenen Verschiedenheit ableiten zu können, welchen Astigmatismus die Linse besitzt, würden die Krümmungsradien in der Hornhautachse, und zwar in den Meridianen des Maximum und des Minimum, bekannt sein müssen. Nun weichen allerdings die Krümmungsradien in der Gesichtslinie wenig ab von denen in der Hornhautachse[1]), und sind die Hauptmeridiane durchgehends nahezu horizontal und vertical, so dass man im Allgemeinen aus den angestellten Messungen beurtheilen kann, wieviel Astigmatismus von der Asymmetrie der Hornhaut abhängt; aber die Abweichung ist sicher doch zu gross, als dass man den geringen Astigmatismus der Krystalllinse (als Differenz zwischen dem totalen und dem für die Cornea gefundenen) durch Subtraction bestimmen könnte.

Eine zweite Ursache von Astigmatismus ist schiefe Lage der brechenden Fläche. In dieser Hinsicht kommt ebenfalls die Hornhaut in Betracht. Die Gesichtslinie nämlich fällt nicht zusammen mit der Hornhautachse: das heisst, die Bilder, welche auf dem gelben Fleck zu Stande kommen, die Bilder des directen Sehens also, sind die von Objecten, welche seitwärts von der Hornhautachse liegen. Im Mittel beträgt der Winkel, den die Gesichtslinie (die Hauptrichtungslinie, welche den vereinigten Knotenpunkt schneidet und Bild und direct gesehenes Object verbindet) in der Horizontal-Ebene mit der Hornhautachse macht, ungefähr 6° und ist, wie zahlreiche gemeinschaftlich mit Dr. Doijer angestellte Messungen mir gelehrt haben, grösser bei Hypermetropen, kleiner bei Myopen. Bei den letzteren kann er = 0 und selbst negativ werden: das heisst, die Gesichtslinie kann die Hornhaut statt an der Innenseite an der Aussenseite ihrer Achse schneiden. Inzwischen ist im Allgemeinen dieser Winkel zu klein, um einen merkbaren Einfluss auf den Astigmatismus auszuüben. In den Fällen von Aphakie

1) Vergl. Knapp l. c.

entsprachen auch die Zerstreuungsbilder eines Lichtpunktes ganz denen des Scheitels einer ungleichachsigen Ellipsoide, während die bekannte Kometform der Zerstreuungsbilder eines ausserhalb der Achse gelegenen Lichtpunktes ganz vermisst wurde.

So leicht es nun ist, die Form der Hornhaut mit vollkommener Genauigkeit zu bestimmen, so schwierig ist es, im lebenden Auge eine genaue Kenntniss der Gestalt der Krümmungsflächen der Linse zu erhalten. Die Fehlerquellen sind so gross, dass nicht daran zu denken ist, direct zu bestimmen, ob die Flächen symmetrisch sind oder nicht. In wie weit sie centrirt genannt werden dürfen, kann dagegen aus den Spiegelbildern wohl ungefähr abgeleitet werden. Nun lehrt der Astigmatismus des gesammten Apparates, verglichen mit der Hornhaut, dass die Linse darauf nicht ohne Einfluss ist. Ihre Wirkung ist, wie wir bemerkten (§. 2), höchst unregelmässig; tausenderlei individuelle Abweichungen kommen in dieser Hinsicht vor. Aber abgesehen davon, verändert die Linse den Grad des regelmässigen Astigmatismus (No. 13 der Tafel und viele andere Fälle von hochgradigem Astigmatismus beweisen es) und es ist die Frage, wodurch sie dies vermag. Zweierlei kann hier in Betracht kommen. Zuerst die Form der Krümmungsflächen: diese könnten sehr wohl ungleichachsige Ellipsoiden sein, deren Maximum und Minimum nicht mit denen der Hornhaut zusammenzufallen braucht; hierüber ist jedoch nichts mit Sicherheit bekannt. Zum andern könnte schiefer Stand der Linse einen damit übereinkommenden Einfluss haben. Dass dieser Einfluss manchmal besteht, wenigstens bei höheren Graden von Astigmatismus, ist, wie sich später zeigen wird, direct erwiesen. Und dass er sich in den Krystalllinsen meiner Augen geltend macht, davon hat mich das Studium des Zerstreuungsbildes eines Lichtpunktes überzeugt: vor und hinter der Mitte der Brennstrecke zeigen die Durchschnitte eines von einem Lichtpunkte ausgehenden Strahlenbündels gerade solche auseinanderlaufende Formen, wie man sie bei schiefem Stand einer Linse auf einem Schirm wahrnehmen kann; und hiermit steht es in Zusammenhang, dass das Auge bei Reduction für einen zu nahe

gelegenen Punkt (nicht durch Accommodation, sondern durch Linsen, so dass die Pupille in beiden Fällen denselben Durchmesser behält) viel schärfer sieht, als bei Reduction für einen zu entfernten Punkt: im ersten Fall bilden nämlich, obgleich auch das Zerstreuungsbild sich ausbreite, viele Strahlen noch lange Zeit einen viel helleren Kern. Ich zweifle nicht, dass auch Andere bei genauer Untersuchung Aehnliches wahrnehmen werden.

Das Endresultat bleibt indessen, dass der regelmässige Astigmatismus in der Regel von der Hornhaut abhängt, dass er durch die Linse zwar complicirt und verändert wird, aber nichtsdestoweniger in Grad und Richtung das Uebergewicht behält.

Lehrreich würde es sein, solche durch eine Ellipsoide mit drei ungleichen Achsen gebrochene Strahlen auf einem Schirm auffangen zu können. Da dies aber kein Rotationskörper ist, wird diese Form wohl kaum zu schleifen sein. Man wird indess, wie wir sahen, nahezu dasselbe erreichen, wenn man mit einer gewöhnlichen sphärischen Linse eine andre cylindrische von viel grösserer Brennweite verbindet. Man kann diese Linsen in einem kurzen Tubus vereinigen. Das Licht lasse man zuerst auf die symmetrische sphärische Linse auffallen, die durch ein Diaphragma mit runder Oeffnung von den cylindrischen getrennt ist. Als cylindrische benutze man eine Combination von zwei plancylindrischen Linsen, einer positiven und einer negativen, von denen man die eine um die Achse des Apparates drehen kann: man erhält dadurch die Wirkung einer einzelnen cylindrischen Linse, deren astigmatische Kraft = 0 ist, wenn die Achsen der cylindrischen Krümmungsflächen parallel sind, und deren Wirkung bei Drehung bis 90° allmählig wächst bis zur Summe beider Linsen. Verbindet man diese Combination mit einer sphärischen Linse, so kann man dieser alle Grade von Astigmatismus mittheilen. Es zeigt sich dann bei der Untersuchung, dass die Brennstrecke desto ausgedehnter, die Linien, die sie begrenzen, desto länger und die Durchschnitte des Lichtbündels im Verlauf der Brennstrecke um so grösser werden, je stärker die cylindrische Linse ist, das heisst, je grössser der Astigma-

tismus wird. Ist er klein, so erhält man in der Brennstrecke noch hinlänglich gute Bilder, die in dem Maasse, als er grösser wird, in mehr und mehr diffuse übergehen.

Sturm behauptete, dass die Brennstrecke, welche die Folge der Asymmetrie ist, jede Accommodation des Auges für verschiedene Entfernungen überflüssig mache. Diese Behauptung bedarf gegenwärtig keiner Widerlegung mehr. Ihre Unhaltbarkeit springt in die Augen, wenn man bedenkt, dass die Brennstrecke des dioptrischen Apparates des Auges viel zu klein sein würde, um das ganze Accommodationsgebiet zu umfassen, und dass, wäre sie gross genug dazu, die Sehschärfe durch die Grösse der Zerstreuungsbilder ansehnlich leiden würde, wie es bei hohen Graden von Astigmatismus wirklich der Fall ist. Aber insofern liegt Sturm's Vorstellung eine Wahrheit zu Grunde, als Objecte, deren Entfernungen vom Auge so wenig verschieden sind, dass ihre Brennstrecken noch ineinanderfallen, sich nahezu gleich deutlich darstellen. Die Accommodationslinie Czermack's, welche man mit Unrecht mit der Länge der Stäbchen in Verband bringt, hängt davon ab; sie beruht auf der Asymmetrie des dioptrischen Apparates des Auges und ist eine Function der Länge der Brennstrecke.

Als Effect der Asymmetrie bezeichneten wir es, dass der hintere Brennpunkt im Meridian der stärksten Krümmung am wenigsten, in dem der schwächsten Krümmung am weitesten von der Cornea entfernt ist. Ersichtlich entspricht dem eine Verschiedenheit in der Lage aller Cardinal-Punkte. Bei den hohen Graden von Astigmatismus kommen wir auf diese Thatsache und ihre Folgen für das Sehen zurück.

IV.

Erscheinungen und Sehstörungen bei hohem Grade von Astigmatismus.

Wir haben gesehen, dass ein gewisser Grad von regelmässigem Astigmatismus allen Augen zukommt und also

nicht als abnorm betrachtet werden kann. Abnorm nennen wir ihn erst, wenn er einen Grad erreicht, bei welchem die Sehschärfe merklich darunter leidet. Bei gleicher Länge der Brennstrecke ist dies um so eher der Fall, je grösser die Pupille ist. Wir nehmen also für die Beobachtungen eine mittlere Grösse der Pupille und volle Beleuchtung an.

Zuerst offenbart sich die Störung, wenn in einer und derselben Ebene liegende Striche von verschiedener Richtung unterschieden werden sollen. Stehen diese weit auseinander, dann regelt sich die Accommodation gewöhnlich fast unwillkürlich, um sie abwechselnd scharf wahrzunehmen, und die Störung kann noch ausbleiben. Stehen sie dicht bei einander, dann fallen die Zerstreuungsbilder der einen Richtung über die scharfen Bilder der andern, für welche man accommodirt ist, und es entsteht Verwirrung. Bei den meisten grossen lateinischen Buchstaben geschieht dies bald und darum sind diese für die Prüfung der Sehschärfe zweckmässig. Das normale Auge erkennt untenstehende Formen (Fig. 7) bei vollkommener Beleuchtung

Fig. 7.

n:X

P R T V X Z B D

n:V

A C E G I L N P R T V X Z

n:III

C E G I L N P R T V X Z B D F H K M O

mit Sicherheit unter einem Winkel von 5 Minuten. Die Nummer, mit der sie bezeichnet sind, giebt die Entfernung, in welcher sie unter diesem Winkel erscheinen und daher

von einem normalen Auge erkannt werden, in Pariser Fuss an.[1])

Die erste Erscheinung bei abnormem Astigmatismus ist, dass die genannten Lettern erst unter einem grösseren Winkel, d. h. in geringerer Entfernung, erkannt werden. Den Grad der Sehschärfe kann man nach dieser Methode sehr bequem bestimmen. Man braucht nur die in Pariser Fuss ausgedrückte Entfernung *d*, in der sie erkannt werden, durch die Nummer N zu dividiren, um die Sehschärfe zu finden

$$S = \frac{d}{N}$$

Wird XX auf 20 Fuss gesehen, dann ist die Sehschärfe vollkommen

$$S = \frac{20}{20} = 1.$$

Wird XX nur in 10 Fuss, XII nur in 3 Fuss Entfernung erkannt, dann ist

$$S = \frac{10}{20} = 1/2$$

$$S = \frac{3}{12} = 1/4.$$

Bei der genauesten Accommodation mit oder ohne sphärische Linsen hat das abnorm astigmatische Auge niemals $S = 1$. Es sinkt nicht selten bis $S = 1/5$. Ist $S = 1/2$, dann ist die Störung bereits sehr hinderlich.

2. Es besteht eine gewisse Gleichgültigkeit gegen ziemlich weit verschiedene Brillengläser. Eine bestimmte Wahl scheint unmöglich zu sein. Gläser von $1/6$ und von $1/8$ werden gleich gut gefunden. Bei Herabsetzung der

---

1) Dr. Snellen hat ein System von dergleichen Lettern entworfen, welches von CC bis I geht und zur Bestimmung der Sehschärfe sehr geeignet ist.

Sehschärfe aus andern Ursachen besteht diese Gleichgültigkeit nicht, oder doch in viel geringerem Grade. Diese Erscheinung liess mich bereits vor längerer Zeit vermuthen, dass die der Hypermetropie häufig zukommende Herabsetzung der Sehschärfe von Astigmatismus abhängen möge. — Diese Erscheinung erklärt sich durch die lange Brennstrecke, deren Durchschnitte als Zerstreuungsbilder alle nahezu gleich störend sind und die bei mässig verschiedenen Gläsern leicht sämmtlich in das Bereich der Netzhaut fallen.

3. Das Zerstreuungsbild eines Lichtpunktes verändert sich bei verschiedener Accommodationseinstellung nicht nur in seiner Grösse, sondern auch in seiner Form. Nur wenn die Mitte der Brennstrecke der percipirenden Fläche entspricht, ist das Bild nahezu rund; bei jedem andern Accommodations-Zustand wird es in der einen oder andern Richtung ausgedehnt. Dies ist, wie wir sahen, schon bei den gewöhnlichen Graden von Astigmatismus, der Fall, bei höheren Graden jedoch in besonders auffallender Weise. Man findet hier bald ein Glas, womit ein Lichtpunkt in der Entfernung sich als eine Lichtlinie darstellt, und dann ein zweites modificirendes (es sei positiv oder negativ), welches, vor das erste gehalten, dem Lichtstreifen eine gerade entgegengesetzte Richtung ertheilt. Die dazu nöthige Stärke des Glases giebt ein Mittel zur Bestimmung des Astigmatismus an die Hand. Die Richtungsveränderung des Lichtstreifens bei abwechselndem Vorhalten und Wieder-Wegnehmen des Glases sind den Astigmatikern besonders auffallend[1]) — Wer eine hinreichende Herrschafft über

1) Die Streifen folgen der jedesmaligen Kopfhaltung, — ein neuer Beweis, dass der verticale Meridian des Auges dieselbe Stellung annimmt, wie der Kopf, und keineswegs, in Folge einer früher von Hueck angenommenen Drehung um die Sehachse, vertical bleibt. An den Linien des Zerstreuungsbildes eines Lichtpunktes kann man dieses

seine Accommodation hat, kann, ohne eine modificirende Linse zu gebrauchen, dieselben Formveränderungen des Zerstreuungsbildes willkührlich hervorbringen.

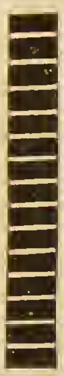
4. Der Einfluss der Richtung von Strichen auf ihre Deutlichkeit ist ungemein gross. Die stärksten Gegensätze zeigen Streifen, welche der Richtung der unter 3. beschriebenen Lichtlinien entsprechen, die selten viel von der verticalen und horizontalen abweichen. Von dem Refractionszustand in den verschiedenen Meridianen hängt es ab, welche von diesen sich in der Entfernung am deutlichsten darstellen; doch macht es keine Schwierigkeiten, ein positives oder negatives Glas zu finden, mit welchem entweder die ersteren oder die letzteren scharf gesehen werden: dem entspricht dann die grösste Undeutlichkeit der Striche in der entgegengesetzten Richtung. Es ist nun auch leicht, die modificirende Linse zu finden, mit welcher diese letzteren scharf gesehen werden und die ersteren am Undeutlichsten erscheinen. Die Undeutlichkeit wird desto grösser und die Linse desto stärker sein müssen, je höher der Grad des Astigmatismus ist. — Die abwechselnde Deutlichkeit der Striche entgegengesetzter Richtung beim Vorhalten und Wiederwegnehmen des modificirenden Glases, fällt auch bei leichteren Graden bereits stark in die Augen, während solches auf eine Linie, die unter einem Winkel von 45° die beiden entgegengesetzten schneidet, kaum einen Einfluss hat.

5. Bestehen die verschieden gerichteten Streifen aus kurzen Linien wie die umstehenden, dann fliessen dieselben auf einen gewissen Abstand für alle Augen zusammen

---

ebenfalls wahrnehmen (Verslagen en Mededeelingen van de Kon. Acad. van Wetenschappen 1861, DIX, bl. 192). Die hierauf beruhende Methode ist noch leichter ausführbar als die von Ruete zuerst angegebenen mit Nachbildern (Handb. der Ophthalmologie, 1844).

Fig. 8.



und man sieht nur noch den Hauptstreifen. Beim Annähern bemerkt das stark astigmatische Auge die Querlinien viel früher in dem Streifen, der am undeutlichsten gesehen wird, als in dem deutlicheren.

Fig. 8.



6. Linien von gleicher Länge werden in den zwei entgegengesetzten Richtungen nicht gleich gross gesehen und diess veranlasst eine ungenaue Beurtheilung der Form der Objecte, ein Quadrat erscheint als ein Rechteck.

Hierbei kommen zwei verschiedene Ursachen ins Spiel. Zuerst bei genauer Accomodation nach einander für die stehenden und liegenden Linien, bilden die im Meridian der stärksten Krümmung gelegenen (in der Regel die stehenden) bei gleicher Länge längere Netzhautbilder. Die Ursache ist in der Lage der Knotenpunkte, oder besser des zweiten Knotenpunktes zu suchen. Je weiter dieser (dem optischen Mittelpunkt gleichzuachtende) Punkt von der Netzhaut entfernt liegt, um so grösser wird das Netzhautbild sein, und da die Ursache des Astigmatismus hauptsächlich in einer Krümmungsverschiedenheit der Hornhautmeridiane zu suchen ist, so liegt der zweite Knotenpunkt im Meridian der stärksten Krümmung weiter nach vorn. Bei starkem Astigmatismus kann dieser Unterschied mehr als 1 mm. betragen, das ist ungefähr $^1/_{13}$ des Abstandes zwischen dem zweiten Knotenpunkte und der Netzhaut.

In zweiter Reihe kommen die Zerstreuungsbilder dabei in Betracht. Sieht man eine horizontale Linie scharf, dann erscheint eine verticale diffus, sie erscheint breiter. Die oberste und unterste Grenze eines Quadrates können nun

als horizontale Linien betrachtet werden; ist man also für die verticalen Grenzlinien eines Quadrates accommodirt, so wird dieses in verticaler Ausdehnung grösser gesehen. Da nun obenein das scharfe Bild in dieser Richtung im Verhältnisse zum Lagenunterschied der Knotenpunkte bereits grösser ist als in der horizontalen, so muss bei Accommodation für die Grenzlinien eines Vierecks, dieses aus doppelten Gründen höher erscheinen und der Unterschied zwischen Höhe und Breite wird daher ansehnlich. Bei Accommodation für die horizontalen Grenzlinien dagegen erscheint das Quadrat breiter und hierdurch kann der Effekt des Lagenunterschiedes der Knotenpunkte compensirt werden. — Der hier beschriebene Effect der Lichtzerstreuung gilt für das Sehen eines weiss auf schwarzem Grund gezeichneten Quadrates und kehrt sich um bei einem auf hellem Grund dunkel gezeichneten Viereck.

7. Die Sehschärfe verbessert sich ansehnlich beim Sehen durch eine Spalte von 1 bis 2 Mm. Man benutze hierzu den stenopaeischen Apparat, dessen Schlitz man nach Belieben verengern und erweitern kann.[1]) Die Verbesserung ist am grössten, wenn die Spalte in der Lage des Krümmungs-Maximum oder Minimum gehalten wird, welche man aus der Richtung, in welcher das Zerstreuungsbild eines Lichtpunktes verlängert erscheint, kennen gelernt hat. Die Spalte fällt dann zusammen mit einem Hauptschnitt, der durch zwei Achsen des Ellipsoids geht. — Die Verbesserung der Sehschärfe beim Sehen durch eine Spalte ist eine Erscheinung von grosser Wichtigkeit. Sie liefert den direkten

1) Derartige Apparate mit Oeffnungen von verschiedener Grösse in einem Diaphragma, oder mit einem beliebig zu erweiternden oder zu verengernden Schlitz werden angefertigt von Paetz und Flohr zu Berlin, Unter den Linden. Ich habe sie mit dem Namen stenopaeische belegt, von *στενός* eng und *ὀπή* eine Durchsicht. (Vergl. van Wijngaarden, De perspicillis stenopaeis Diss. inauguralis Utrecht 1856 und Archiv f. Ophthalm. B. I. Abth. 2 S. 251).

Beweis, dass Strahlen, die im Meridian eines Hauptschnittes gebrochen werden, sich nahezu in einen Punkt vereinigen und dass also die bestehende Sehstörung von Asymmetrie abhängig sein muss. Was noch mehr ist, man kann auf diesem Weg den Refractionszustand im Meridian der stärksten und schwächsten Krümmung bestimmen, wie im folgenden Abschnitt näher erklärt werden soll.

Lehrreich ist es auch, dass beim Sehen durch einen Schlitz, welcher nicht mit einem der Hauptschnitte zusammenfällt, die Objecte verzogen erscheinen, theils weil leicht noch Zerstreuungskreise übrig bleiben, die in Richtung der Spalte verlängert sind, theils weil die Normalen eines Meridians, der nur durch eine Achse gelegt ist, nicht alle in derselben Ebene liegen und daher auch die gebrochenen Strahlen nicht in einer Ebene bleiben.

8. Sehr eigenthümlich kommen bei hohen Graden von Astigmatismus die Erscheinungen der Farbenzerstreuung zum Vorschein. Helmholtz bemerkt, dass im Allgemeinen die Erscheinungen der Farbenzerstreuung viel deutlicher auftreten, wenn man statt weissen Lichtes bei der Untersuchung solches Licht anwendet, welches nur aus zwei prismatischen Farben von möglichst verschiedener Brechbarkeit besteht. Auf die einfachste Weise erhält man solches Licht, wenn man Sonnenlicht durch dunkel violette Gläser gehen lässt. Solche Gläser absorbiren die mittleren Strahlen des Spectrum fast vollkommen und lassen nur die äussersten Farben, Roth und Violett, durch. Experimentirt man mit dem Licht einer Lampe oder einer Wachskerze, so ist ein dunkelblaues Kobalt-Glas, welches nur das äusserste Roth nebst Indigblau und Violett in grosser Quantität durchlässt, durchaus genügend. Eine mehr oder weniger violette Färbung ist aber auch hierbei noch vorzuziehen. Ein vortreffliches dickes Stück Glas dieser Art sah ich bei Dove; die Gläser, die ich mir bisher verschaffen konnte, blieben

alle dahinter zurück. Sieht man bei leichter Myopie (oder bei Accommodation für einen näher gelegenen Punkt) durch ein solches Kobalt-Glas nach einer Kerzen-Flamme, so sind ihre Ränder blau und die Mitte röthlich; bei leichter Hypermetropie zeigt das Licht einen schön rothen Rand und ist in der Mitte blau.[1]) Betrachtet man durch ein violettes Glas eine kleine dem Tageslicht zugekehrte Oeffnung in einem dunklem Schirm, so sieht man bei Accommodation für die violetten Strahlen die Oeffnung von einem rothen, bei Accommodation für die rothen die Oeffnung von einem violetten Saum umgeben: im letzteren Fall waren im Netzhautbild die violetten Strahlen noch nicht zur Vereinigung gekommen, im ersteren die rothen bereits überkreuzt und daher an der Aussenseite; eine viereckige Oeffnung ist auf dieselbe Weise umsäumt. Sieht dagegen ein Astigmaticus eine solche Oeffnung so scharf als möglich, und schiebt man das violette Glas vor sein Auge, so kommen am obern und untern Rande blaue, an den beiden verticalen Rändern rothe Säume zum Vorschein: er ist myopisch im verticalen, hypermetropisch im horizontalen Meridian. Sieht er den Lichtpunkt zu einer Linie verzogen, so sind die Aussen-Enden und die Mitte der Linie von verschiedener Farbe und bei Richtungsveränderung der Lichtlinie durch eine modificirende Linse wechseln auch die Farben.

Alle obigen Erscheinungen kann man bei sich selbst beobachten. Man braucht nur das Auge astigmatisch zu machen, indem man eine cylindrische Linse davor hält. Am besten richtet man, wenn die Cylinder-Linse positiv ist, die Krümmungsachse horizontal, wenn sie negativ ist, vertical: man bekommt dann in seinem Auge die kürzeste Brenn-

---

1) Geringe Grade von Ametropie sind mit diesem Hülfsmitttel sogleich zu erkennen. Bei hohen Graden werden die Zerstreuungsbilder zu gross für eine deutliche Auffassung des Farbenunterschiedes.

weite in den verticalen Meridian, ebenso wie die meisten Astigmatiker. Ein Cylinderglas von $^1/_{20}$ oder $-^1/_{20}$ (20″ positiver oder negativer Brennweite) ist dazu genügend. Man kann damit, durch Zuhülfenahme sphärischer Gläser, jeden Grad von Ametropie verbinden, immer bleibt (abgesehen von der ursprünglich bestehenden Asymmetrie) der Astigmatismus $= ^1/_{20}$. Um einen einfachen und häufig vorkommenden Fall bei sich selbst zu erhalten, mache man den horizontalen Meridian hypermetropisch, bei Emmetropie des verticalen. Wer emmetropisch ist, braucht dazu nur eine cylindrische Linse von $-^1/_{20}$ mit der Achse des Cylinders lothrecht vor das Auge zu halten. Nützlich ist es inzwischen, nachher auch mit in beiden Meridianen modificirter Ametropie zu experimentiren.

Es wäre überflüssig, für die anzustellenden Versuche noch nähere Anweisungen zu geben. Alle oben beschriebenen Erscheinungen wird man ohne Mühe wiederfinden. Nur ein paar Bemerkungen: Die Farbenzerstreuung schien mir bei künstlichem Astigmatismus grösser zu sein als beim natürlichen, und auch der Grössen-Unterschied der Netzhautbilder in den beiden Meridianen ist beträchtlicher. Die Erklärung des ersteren würde mich zu weit führen. Die Ursache des letzteren liegt auf der Hand: die cylindrische Linse befindet sich nämlich in einiger Entfernung von der Hornhaut und ihre Wirkung übt hier einen grösseren Einfluss auf die Lage des hinteren Knotenpunktes aus, als wenn durch Veränderung des Hornhaut-Radius der hintere Brennpunkt seine Lage ebenfalls verändert hat. Man sieht daher die Gegenstände noch mehr verzogen, als bei natürlichem Astigmatismus gleichen Grades.

Bei Vorhandensein von regelmässigem Astigmatismus ist es zur Beantwortung einer Anzahl von Fragen nothwendig, in den beiden Hauptmeridianen die Kardinal-Punkte zu bestimmen, als

ob sie zwei verschiedenen Systemen angehörten. Wir wollen dies im Folgenden für einen bestimmten Fall unternehmen. Wir nehmen dabei an, der Grund des Astigmatismus läge ausschliesslich in der Cornea, deren Krümmungsradins im verticalen Meridian, was nicht selten der Fall ist, um 1 mm. kleiner wäre als im horizontalen. Wir benutzen dazu, um uns an einen bestimmten Fall zu halten, den Fall No. 6 der Tabelle auf pag. 63, bei welchem der Radius in der Vertical-Ebene 7.38, in der horizontalen 8.38 mm. beträgt. Der Durchschnitt in der Vertical-Ebene sei V, in der horizontalen H.

Für die brechende Fläche der Hornhaut allein sind die Cardinal-Punkte leicht zu bestimmen: der Hauptpunkt h liegt im Scheitel der Krümmungs-Ebene, der Knotenpunkt k im Krümmungs-Mittelpunkt des Scheitels (7.38 resp. 8.38 mm. hinter demselben), während die Lage des vorderen Brennpunktes φ' und des hinteren Brennpunktes φ'' berechnet werden kann nach der Formel

$$h\,\varphi' \text{ oder } F' = \frac{r}{n-1}$$

$$h\varphi'' \text{ oder } F'' = \frac{r\,n}{n-1},$$

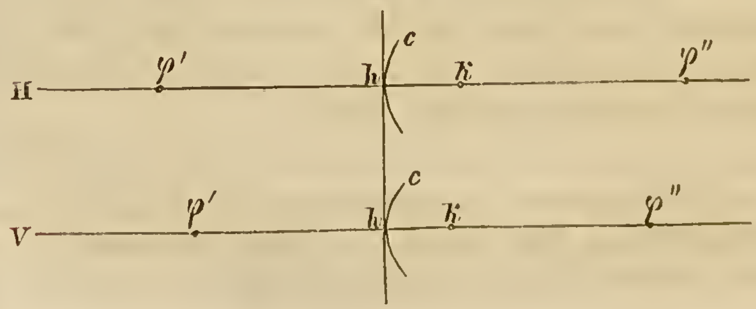
wobei man, $n = 1{,}3365$ angenommen, findet

$$\text{für H} \begin{cases} F' = 24{,}90 \\ F'' = 33{,}28 \end{cases}$$

$$\text{für V} \begin{cases} F' = 21{,}93 \\ F'' = 29{,}31 \end{cases}$$

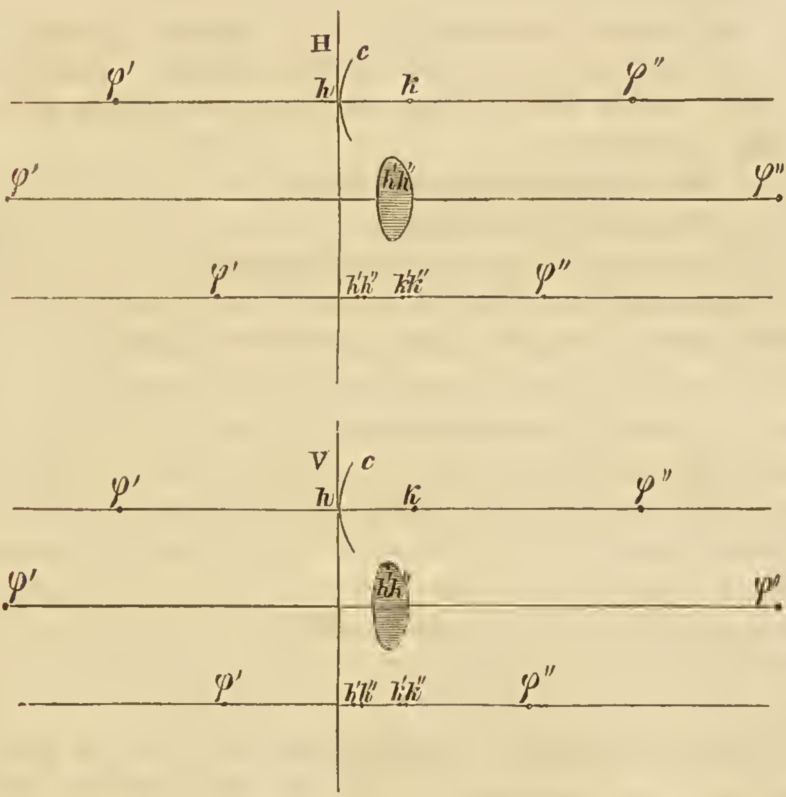
Hiermit sind die Entfernungen $h\,\varphi'$ und $h\,\varphi''$ bestimmt. In Fig. 9 (worin $C\,c$ die Cornea) ist nun die gefundene Lage der Cardinal-Punkte angegeben.

Fig. 9.



Eine einfache, auf pag. 25 angegebene Rechnung lehrt, dass in diesem Fall eine mit vertical gestelltem Meridian unmittelbar auf der Cornea liegende unendlich dünne cylindrische Linse von $\frac{1}{6{,}8}$ die Cardinalpunkte in beiden Meridianen zusammenfallen lassen würde.

Fig. 10.



Mit dieser Cornea verbinden wir nun eine symmetrische Krystall-Linse (die des ruhenden schematischen Auges von Helmholtz) deren Brennweite = 43,707 mm., gegenseitiger Abstand ihrer beiden Hauptpunkte = 0,2283 und Abstand dieser Hauptpunkte vom Hornhautscheitel = 5,7073 und 5,9356. Die Berechnung dieses combinirten Systemes giebt nun für die Lage der Cardinalpunkte vom Hornhautscheitel an gerechnet, in den beiden Hauptmeridianen H und V folgende Resultate:

		H.	V.
Vorderer Brennpunkt	φ'	- 13,2743	- 1,22967
Erster Hauptpunt	h'	1,9837	1,9443
Zweiter Hauptpunkt	h''	2,4357	2,2297
Erster Knotenpunkt	k'	7,1321	6,7359
Zweiter Knotenpunkt	k''	7,5743	7,0213
Hinterer Brennpunkt	φ''	22,8423	21,2623
Folglich ist			
die hintere Brennweite	$F'' = h''\,\varphi''$	20,4064	19,0326
die vordere „	$F' = h'\,\varphi'$	15,268	14,241

Fig. 10 stellt diese Systeme anschaulich dar, indem sie für H und V angiebt:

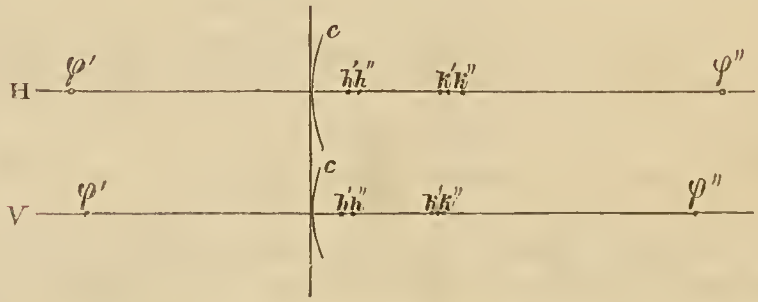
I. Die Cardinalpunkte der Cornea;

II. Die der Krystall-Linse;

III. Den vereinigten dioptrischen Apparat;

Fig. 11 giebt No. III. von H und V der besseren Vergleichung wegen in doppelter Grösse untereinander gesetzt.

Fig. 11.



Die Kenntniss der Cardinalpunkte setzt uns in Stand, das Sehen der Astigmatiker in mehr als einer Hinsicht näher kennen zu lernen.

Zuerst, was die Sehschärfe anlangt, in H liegt φ'' 1,58 mm. hinter φ'' von V. Sind also Lichtstrahlen, welche von einem gegebenen Punkte ausgehen, in V zur Vereinigung gekommen, so sind sie in H noch 1,58 mm. von ihrem Vereinigungspunkt entfernt. Es ist klar, dass die Sehschärfe darunter leiden muss. Eine genauere Vorstellung hierüber gewinnt man aus der Grösse der Zerstreuungsbilder. Wir haben sie (vergl. die Methode bei

Helmholtz, l. c. p. 98) bei einer mittleren Pupillen-Weite von 4 mm. (entsprechend der scheinbaren Grösse ihres Hornhautbildes von 4,23) und bei einer Lage der Pupillarebene von 3,6 mm. (scheinbare Lage 3,713) hinter dem Hornhautscheitel berechnet. Liegt die Netzhaut in φ'' von V 21,26 mm. hinter der Hornhaut, dann kommen parallel auffallende Strahlen, welche in V gebrochen werden, auf der Netzhaut zur Vereinigung, während die in H gebrochenen schon 1,58 mm. vor ihrem Vereinigungspunkt die Netzhaut erreichen. Für ihr Zerstreuungsbild auf der Netzhaut fanden wir eine Länge von 0,3494 mm., was in diesem Meridian einem Gesichtswinkel von $1^0\,24',2$ entspricht.

Liegt die Netzhaut in φ'' von H 22,8423 hinter der Hornhaut, dann haben die in V convergirenden Strahlen sich bereits 1,58 mm. vor der Netzhaut gekreuzt und bei der oben angegebenen Lage und Weite der Pupille misst nun das Zerstreuungsbild = 0,3808, was in diesem Meridian einem Sehwinkel von $1^0 25',7$ entspricht.

Liegt endlich die Netzhaut 22,018 mm. hinter dem Hornhautscheitel, so sind die linearen Zerstreuungsbilder in V und H gleich und zwar 0,18222 m.m. gross. Bei dieser Lage fängt also die Netzhaut den Theil der Brennstrecke auf, wobei das Zerstreuungsbild nahezu kreisrund ist. Die Mittellinie desselben erscheint im horizontalen Meridian unter einem Winkel von 41',8, im verticalen unter einem Winkel von 43',4. Bedenkt man, dass bei vollkommener Sehschärfe Buchstaben unter einem Winkel von 5' erkannt werden, dann bekommt man eine Vorstellung, in wie hohem Maasse die genannten Zerstreuungskreise der Sehschärfe Abbruch thun müssen.

Einen noch bessern Vergleich erhalten wir durch Berechnung der Accommodation, welche verwandt werden muss, damit in H φ'' da zu liegen komme, wo bei Accommodationsruhe φ'' in V sich befindet, mit andern Worten, um abwechselnd im horizontalem und verticalem Meridian scharf zu sehen.

Wir denken uns das Auge emmetropisch in V (wo die Netzhaut 21,2623 mm. hinter dem Hornhautscheitel liegt) und folglich hypermetropisch in H, und finden für diese Hypermetropie den

Grad, dass eine in der Luft stehende Linse, deren Knotenpunkt mit k' von H zusammenfiele, von 176,8 mm. = 6,53″ Brennweite zur Neutralisation verlangt würde, folglich eine Hypermetropie von $\frac{1}{6,53}$, welche durch eine Accommodation von $\frac{1}{6,53}$ aufgehoben werden würde. Bei einer solchen Accommodation findet dieselbe aber eben so gut in V statt, wobei für diese Ebene $F' = 12,857$ mm. $F'' = 17,183$ mm. werden und horizontale Linien in 176,8 mm. = 6,53″ Entfernung scharf gesehen werden. Während also durch eine Accommodation von $\frac{1}{6,53}$ H emmetropisch wird, nahm V eine Myopie von $\frac{1}{6,53}$ an.

Hieraus kann man ableiten, dass bei einer Accommodation von ungefähr $^1/_{13}$ die Netzhaut sich in der Mitte der Brennstrecke befinden wird, wobei dann das Zerstreuungsbild ein Zerstreuungskreis ist von ungefähr derselben Höhe, wie ihn ein symmetrisches für ∞ accommodirtes Auge von einem 13″ vor dem Auge gelegenen Object wahrnimmt, oder auf 13″ accommodirt von einem unendlich entfernten Gegenstand sieht. Man kann dadurch, dass man bei Betrachtung entfernter Objecte das Auge durch Gläser $^1/_{13}$ myopisch oder hypermetropisch macht (und im letzteren Fall sich jeder Accommodations-Anspannung enthält), die von den Zerstreuungskreisen abhängige Sehstörung bei sich selbst wahrnehmen. Sie scheint indessen, auf diese Weise hergestellt, etwas grösser zu sein, als bei den Astigmatikern, was wohl davon abhängt, dass diese durch einiges Accommodations-Spiel die Formen der Zerstreuungsbilder ändern können und die daher abwechselnd deutlicher wahrgenommenen verticalen und horizontalen Linien combiniren; vielleicht ist auch in den Zerstreuungsbildern der Astigmatiker das Licht weniger gleichmässig vertheilt. Uebrigens scheint es mir, dass im Allgemeinen die Zerstreuungsbilder wegen ihrer Discontinuität (in Folge des unregelmässigen Astigmatismus der Krystall-Linse) weniger stören, als bei Gleichartigkeit der Fall sein würde.

Wie oben bemerkt, sind die Netzhautbilder für gleiche Grössen der Objecte in horizontaler und verticaler Richtung nicht von gleicher Grösse. Entspricht nun die Projection in

allen Meridianen der Grösse des Netzhaut-Bildes (was nicht zu bezweifeln ist), so werden gleiche Grössen der Objeete in den entgegengesetzten Meridianen nicht gleich gross gesehen. Die Grösse der Netzhautbilder ist nun bei der erhaltenen Kenntniss der Lage der Kardinalpunkte sehr wohl vergleichbar. Da die Entfernung der Objecte sehr beträchtlich ist, im Vergleich mit dem Abstand der Knotenpunkte von einander und der Entfernung $k'' \varphi''$, so kann man annehmen, dass die Grösse der Netzhautbilder bei abwechselnder Accommodation in den beiden Hauptmeridianen proportionàl sind den Entfernungen $k'' \varphi''$ in H und V. Vorausgesetzt, dass die Netzhaut 22,8432 mm. hinter der Hornhaut liegt, sind die Abstände $k'' \varphi''$ in den beiden Systemen 14,241 und 15,268, desshalb = 1 : 1,0721. Dabei ist angenommen, dass k'' bei der Accommodation an seiner Stelle bleibt, was zwar nicht ganz genau ist, aber doch keinen irgend bedeutenden Fehler verursacht. Es zeigt sich also, dass der Unterschied in der Grösse der Netzhautbilder in den beiden Haupt-Meridianen für gleich weit entfernte Objecte, bei genauer Accommodation ganz ansehnlich ist. Dass hierzu sich nun noch Grössen-Veränderungen durch die Zerstreuungsbilder verbinden können (welche den Unterschied compensiren oder vermehren), wurde oben bereits genügend auseinandergesetzt.

V.

Diagnose des abnormen Astigmatismus und Bestimmung seines Grades.

Die Erscheinungen, von welchen Abschnitt IV eine Uebersicht gab, geben bereits den Schlüssel zur Diagnose des Astigmatismus und selbst zur Bestimmung seines Grades. Es schien mir jedoch gleichwohl nicht überflüssig, die daraus abzuleitenden Untersuchungs - Methoden hinsichtlich ihres Werthes und ihrer Brauchbarkeit zu prüfen und den Weg anzuzeigen, welcher bequem und sicher zu einer erschöpfenden Diagnose führt.

Die subjective Untersuchung tritt bei der Anomalie, mit welcher wir uns beschäftigen, in den Vordergrund. In dem Verhalten der Sehschärfe unter verschiedenen Bedingungen finden wir den gewünschten Aufschluss. Desshalb handeln wir über diese an erster Stelle. Endlich soll noch kurz auf die objectiven Zeichen hingewiesen werden, welche das Vorhandensein von Astigmatismus vermuthen oder selbst mit Sicherheit erkennen lassen.

A. Subjective Untersuchung. Die erste Hinweisung liefert uns das Fehlen der normalen Sehschärfe. Besteht dieser Fehler von Jugend an, in hinreichend unverändertem Grad, ohne sichtbaren Grund, dann ist zu vermuthen, dass Astigmatismus die Ursache sei. Es ist sogar eine Ausnahme, diese Vermuthung durch die Untersuchung Lügen gestraft zu finden. Wenn man will, kann man nun noch ein paar Fragen stellen über die Deutlichkeit von horizontalen und verticalen Linien bei grösserer oder geringerer Kopfneigung; man verliere indessen hiermit nicht viel Zeit, sondern gehe zur systematischen Untersuchung über.

1. Bei jeder Herabsetzung der Sehschärfe fängt man damit an, den Grad derselben zu bestimmen. Dies geschieht regelmässig bei Accommodation oder Reduction (durch sphä-Linsen) auf hinreichend grosse Entfernung, je nach der Gelegenheit, wie sie das Zimmer, in welchem die Untersuchung geschieht, bietet. In dieser Entfernung hängt eine Tafel mit Lettern (Fig. 7), von CC, C, XC, LXXX u. s. w. bis zu der Nummer, welche der in Fuss ausgedrückten Entfernung entspricht: Beträgt dieselbe 12 Fuss, so endigt die Tafel mit XII. Das scharf sehende emmetropische Auge erkennt nun Lettern von XII mit Sicherheit. Das stärkste positive oder schwächste negative Glas, mit welchem man die grösste Sehschärfe erhält, giebt den Grad der Ametropie resp. Hypermetropie und Myopie an. Es verdient bemerkt zu werden,

dass bei hohen Graden von Myopie aus mehr als einer Ursache gewöhnlich keine vollkommene Sehschärfe gefunden wird. Ein gewisser Grad von Unvollkommenheit giebt daher bei Myopie weniger Grund, abnormen Astigmatismus zu vermuthen. Es werde gleichwohl untersucht.

2. Es sei also unvollkommene Sehschärfe gefunden. Zuerst bestimme man nun, in welcher Richtung die Hauptmeridiane d. h. Maximum und Minimum der Krümmung gelegen sind. Dazu dient ein entfernter Lichtpunkt. In meinem Consultationszimmer ist eine der Fensterscheiben von mattem Glas; davor befindet sich ein schwarzes viereckiges Brettchen von 35 Cm. und in der Mitte desselben ein durchbohrtes metallenes Plättchen mit einem verschiebbaren Diaphragma, mit Oeffnungen von $\frac{1}{2}$ bis 10 mm. Durchmesser. Nach einer Oeffnung von 2 bis 4 Millimeter lasse man auf 10′ bis 15′ Abstand sehen, während man durch Gläser eine leichte Myopie mit Hypermetropie abwechseln lässt (vergl. S. 32). Selbst im normalen Auge wird dabei gewöhnlich eine Verlängerung des Zerstreuungsbildes in zwei verschiedenen Richtungen wahrgenommen, welche Maximum und Minimum der Krümmung anzeigen. Bei abnormem Astigmatismus springt dies aber besonders deutlich ins Auge.

3. Man kennt also die Richtung der Hauptmeridiane. Man untersuche nun: ob die zu denselben gehörenden Strahlen schärfere Bilder liefern als die der gesammten brechenden Fläche. Zu diesem Zweck halte man abwechselnd in jeden Hauptmeridian die 1—2 mm. breite Spalte eines stenopaeischen Apparates und untersuche nun, ob dabei die Sehschärfe zunimmt. Ist dies nicht der Fall, so nehme man gewöhnliche sphärische Linsen zu Hülfe, zu deren Anwendung man bereits durch die unter 1° angegebene Untersuchung angewiesen ist. Ist auch mit Hülfe dieser keine grössere Sehschärfe zu erzielen, als ohne An-

wendung der stenopäischen Spalte, so steht es hinlänglich fest, dass Astigmatismus nicht als Ursache der Sehstörung anzusehen ist. Ist jedoch dieselbe gering, beträgt die Sehschärfe z. B. noch $^3/_4$, so kann, einestheils weil das Sehen durch einen Schlitz schon an sich einige Störung verursacht, anderntheils weil der Astigmatismus bei dieser Untersuchung doch auch nicht vollständig aufgehoben wird, das Resultat dennoch unsicher sein.

4. Man finde Verbesserung der Sehschärfe, damit ist das Bestehen von abnormem Astigmatismus erwiesen. Nun fragt es sich: welcher Brechungszustand ist in jedem der Hauptmeridiane vorhanden. Dies ergiebt sich aus der Stärke des positiven oder negativen Glases, womit in jedem dieser Meridiane die grösste Sehschärfe erhalten wird. Meistens findet man für beide Hauptmeridiane einen gewissen Grad von Ametropie. Es ist nun von Gewicht, diesen Grad genau zu bestimmen. Mit dieser Bestimmung ist unser Zweck erreicht. Der Grad des Astigmatismus liegt darin enthalten. Diese Bestimmung bietet nun keine Schwierigkeiten, wenn in beiden Hauptmeridianen ein gewisser Grad von Myopie besteht: das schwächste negative Glas, womit die grösste Sehschärfe erhalten wird, ist dafür ein ganz genügender Maassstab. Findet man aber in einem oder in beiden Meridianen Hypermetropie, dann ist es, wenigstens bei jugendlichen Individuen, wahrscheinlich, dass dieser Grad nicht genau angegeben wird. Unwillkürliche, beinahe krampfartige Anspannung der Accommodation verbirgt nämlich einen Theil der bestehenden Ametropie und giebt für die Correction ein zu schwaches positives Glas an. Bliebe die Accommodationsspannung im Verlauf der Untersuchung in beiden Hauptmeridianen sich gleich, so würde wenigstens die Differenz im Brechungszustand und damit der Grad des Astigmatismus bekannt geworden sein. Aber diese Gleichheit der Accommodationsspannung ist nicht

zu erwarten. Obenein ist es nicht genügend, den Grad des Astigmatismus, sondern es ist nothwendig, in beiden Hauptmeridianen den der Hypermetropie zu erkennen. Diese Kenntniss wird erst dann sicher und genau erhalten, wenn man diese Untersuchung bei künstlicher Accommodations-Paralyse durch ein Mydriaticum anstellt. Die Hypermetropie kann dann nicht ganz, oder zum Theil latent bleiben; sie erscheint nothwendig ganz, und als manifeste Hypermetropie.

5. In Bezug auf den Astigmatismus verlangen wir zu kennen:

a. sein Bestehen;
b. die Richtung der Hauptmeridiane, die des Maximum und Minimum des Brechungs-Zustandes;
c. den Refractionszustand des Auges in jedem dieser Meridiane;
d. den Grad des Astigmatismus.

Ueber a. und b. erhalten wir Aufschluss unter 3°, über c. unter 4°. Hier ist nun ferner anzugeben, wie daraus d. abzuleiten ist. Die Sache ist einfach: der Grad des Astigmatismus ergiebt sich aus der Differenz des Brechungs-Zustandes in den beiden Haupt-Meridianen. Dies soll durch einige Beispiele erläutert werden, zugleich mit den drei Formen vom Astigmatismus, welche wir in Bezug auf den Refractionszustand aufstellen zu müssen glauben.

I. Myopischer Astigmatismus zu unterscheiden als:

a. Einfacher Am, mit M in dem einem, E in dem anderem Meridian.

Es sei:

im Hauptmeridian H Emmetropie

" " V, M = 1/6,

dann besteht einfacher myopischer Astigmatismus

$$Am = \frac{1}{6} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{6}.$$

b. Zusammengesetzter myopischer Astigmatismus, oder Myopie mit Astigmatismus, M + Am, wobei M in beiden Hauptmeridianen.

Es sei:

im Hauptmeridian H, $M = 1/20$

" " V, $M = 1/10$

dann besteht $M = 1/20$

und ausserdem $Am = 1/10 - 1/20 = 1/20$, zu schreiben als:

$$M = \frac{1}{20} + Am\ \frac{1}{20}.$$

II. Hypermetropischer Astigmatismus, ebenfalls zu unterscheiden als:

a. Einfacher Ah, mit H in dem einem, E im andern Hauptmeridian.

In V sei E.

In H sei $H = 1/8$,

dann besteht einfacher hypermetropischer Astigmatismus

$$Ah = \frac{1}{8} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{8}$$

b. Zusammengesetzter, H mit Astigmatismus, H + Ah, wobei H in beiden Hauptmeridianen.

In H sei $H = 1/6$.

In V sei $H = 1/18$.

So finden wir $H = 1/18$,

und überdem $Ah = 1/6 - 1/18 = 1/9$,

und schreiben daher

$$H\ \frac{1}{18} + Ah\ \frac{1}{9}.$$

III. Gemischter Astigmatismus, mit M in dem einen, H in dem andern Meridian.

Man kann hiervon zwei Formen unterscheiden.

a. Gemischter Astigmatismus, mit überwiegender Myopie Amh.

In V sei M = $^1/_{12}$.

In H sei H = $^1/_{24}$.

So finden wir

$$Amh = M\frac{1}{12} + H\frac{1}{24} = \frac{1}{8}.$$

b. Gemischter Astigmatismus, mit überwiegender Hypermetropie Ahm.

In V sei M = $^1/_{24}$.

In H sei H = $^1/_{12}$.

Dann ist:

$$Ahm = \frac{1}{24}M + \frac{1}{12}H = \frac{1}{8}.$$

Das obenstehende ist im Allgemeinem genügend zur Erkennung und Bestimmung des Grades des Astigmatismus. Die Methode empfiehlt sich durch Einfachheit und Bequemlichkeit der Anwendung. Sie verdient in der Regel den Vorzug vor allen andern sogleich zu beschreibenden. Jedoch werde die unter 9° angegebene Controle nicht unterlassen. Diese ist eigentlich nichts weiter als die Probe, ob die Gläser, welche die Untersuchung unter 4° an die Hand gab, wirklich zweckdienlich sind. Geschieht die Controle genau, so kann, selbst beim Vorhandensein von Hypermetropie, die Untersuchung bei künstlicher Accommodations-Paralyse meistentheils unterbleiben.

Die ferner zu beschreibenden Methoden kommen nur in einzelnen Fällen zur Anwendung. Wir wollen sie indessen nicht stillschweigend übergehen, am wenigsten die Methode von Stokes, welche schon ihrer Scharfsinnigkeit wegen gekannt zu werden verdient, und auch in einigen Fällen gute Dienste thut. Sie giebt zur Controle angewendet, manchmal den genauesten Aufschluss.

6. Modificirte Methode von Young. Young bestimmte die Entfernung, in welcher bei Accommodation für den Fernpunkt die Doppelbilder des Drahtes in seinem Optometer bei verticaler und bei horizontaler Haltung überkreuzt erschienen. Die Methode kann bei Myopie angewandt werden, jedoch müssten zuvor, auf die unter 2° angegebene Weise, die Richtungen der Hauptmeridiane gefunden sein, um danach zu bestimmen, bei welcher Haltung des Optometers die Beobachtung anzustellen ist. Auch bei Nicht-Myopen kann man das Optometer anwenden und zwar zur Bestimmung des Nahepunktes in beiden Hauptmeridianen. Hierbei lasse man nicht, wie mit Youngs Optometer, durch eine doppelte Spalte, sondern ganz frei sehen und benutze als Object einen Ring mit hindurchgezogenen Drähten, denen man durch Drehung des Ringes in einem zweiten äusseren Ring nach einander die Richtung der beiden Hauptmeridiane giebt.

Die Methode ist nicht sehr genau, aber sie ist in so fern wichtig, als sie das beinahe unveränderte Fortbestehen des Astigmatismus bei Accommodation für die Nähe nachweist.

7. Methode von Airy. Diese findet nur Anwendung beim Vorhandensein eines hohen Grades von Myopie in den beiden Hauptmeridianen, was denn auch bei Airy der Fall war. Als Lichtpunkt benutze man eine kleine, dem Himmel, oder einem matten Glas, oder der Glocke einer Lampe zugekehrte Oeffnung in einem dunkeln Schirm, welcher auf einem getheilten Maassstab z. B. auf dem eines Optometers beweglich ist. Man findet dabei eine grösste Entfernung, in welcher der Lichtpunkt sich als schmalster Streifen darstellt, und eine kleinste Entfernung, in welcher er wieder zu einer dünnen, senkrecht auf die erstere gerichteten Linie wird. Die Entfernungen geben dann ungefähr die Grade der Myopie in den beiden Haupt-Meridianen an.

Will man diese Methode bei Nicht-Myopen anwenden, so muss man durch ein passendes Convexglas das Auge myopisch machen, wobei jedoch die Schwierigkeit entsteht, dass, wenn die Achse der Linse nicht vollständig mit der Sehachse zusammenfällt, der Astigmatismus eine Veränderung erleidet.

Ausserdem muss in beiden Fällen die Accommodation in Ruhe bleiben. Dieser Anforderung wird nun fast niemals genügt und desshalb führt diese Methode meistens zu wenig sichern Resultaten.

8. Modificirte Methode von Airy. Um der letzteren Schwierigkeit zu begegnen, kann man durch ein Mydriaticum die Accommodation paralysiren. Bei starker Myopie giebt dann die Methode von Airy ganz gute Resultate. Besteht aber keine oder geringe Myopie, so verdient ein entfernter Lichtpunkt den Vorzug. Man vermeidet dabei die mit dem Gebrauch von Linsen verbundenen Schwierigkeiten. Um ein schärferes Resultat zu erhalten, gebrauchte ich einen sehr kleinen Lichtpunkt, welcher durch den Reflex einer kleinen hellen Oeffnung in einem Hohlspiegel erhalten wurde. In einigen Fällen wurde dann hinreichend scharf angegeben, mit welchen sphärischen Gläsern der Lichtpunkt sich nach einander in zwei entgegengesetzten Richtungen als schmalstes Streifchen zeigte. Meistens dagegen liess das Resultat zu wünschen übrig. Die Ursache davon liegt im unregelmässigem Astigmatismus, welcher scharfe Linien als Zerstreuungsbilder unmöglich macht. Gewöhnlich schossen schon bald, selbst ehe die Hauptlinie schmal geworden war, in verschiedenen Richtungen Nebenlinien an, welche eine genaue Bestimmung des verlangten Glases verhinderten. Aber bei Abwesenheit der Linse, womit der unregelmässige Astigmatismus aufgehoben war, erreichten die Resultate eine vollkommene Schärfe.

Statt eines sehr kleinen reflectirten Lichtpunktes kann

man eine Oeffnung von 1 bis 2 mm. Durchmesser anwenden, wie sie mittelst der pag. 47 beschriebenen Vorrichtung herzustellen ist. Die Fälle von Aphakie ausgenommen, stehen die hiermit erhaltenen Resultate denen nicht nach, bei welchen der reflectirte Lichtpunkt gebraucht wurde.

9. Untersuchung mit cylindrischen Linsen. Während Buchstaben auf Entfernung ohne oder mit dem am besten befundenem sphärischem Glas so deutlich als möglich gesehen werden, dreht man ein positiv cylindrisches Glas vor dem Auge rundherum. Besteht Astigmatismus, so bemerkt man bei einem bestimmten Stand des Glases (während die Krümmung des cylindrischen Glases mit dem Meridian der stärksten Krümmung zusammenfällt), dass die Sehschärfe stark abnimmt, bei einer darauf lothrechten Stellung dagegen zunimmt. Manchmal wird nun die Sehschärfe durch das Annähern des Objectes noch grösser, das cylindrische Glas kann beim Corrigiren des Astigmatismus das Auge myopisch gemacht haben. Man kann nun ferner untersuchen, bei welcher Stärke, des immer in der vortheilhaftesten Stellung gehaltenen cylindrischen Glases, die grösste Sehschärfe erhalten wird, was auch stets bei verschiedener Entfernung der Buchstaben und bei Combination mit sphärischen Gläsern versucht werden muss. So erhält man dann endlich, mit Aufopferung vieler Zeit, ein ganz genügendes Resultat.

Obwohl an sich selbst verwerflich, ist die Methode doch sehr geeignet zur Controle der Resultate, die man auf die unter 4° beschriebene Weise erhalten hat. Diese lehrte, welche Combination sphärischer und cylindrischer Gläser die grösste Sehschärfe erwarten lässt und die Probe darauf, so wie Vergleiche bei kleinen Modificationen der Linsen sind nie zu versäumen. Jederzeit wird man sich dabei einer vollkommneren Verbesserung der Sehschärfe erfreuen, als mit Hülfe des stenopaeischen Schlitzes zu erreichen war,

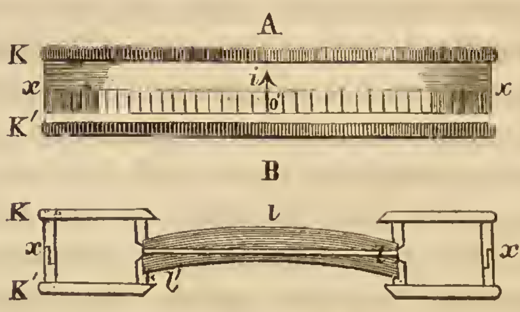
welcher, wenn er zu schmal ist, zu viel Licht wegnimmt, und ist er zu breit, den Astigmatismus unvollkommen corrigirt.

Ein schwach cylindrisches Glas, nach der hier beschriebenen Methode angewendet, giebt ein sehr empfindliches Mittel an die Hand, bei vollkommner Sehschärfe die Anwesenheit von normalem Astigmatismus zu beweisen. Bereits früher (pag. 16) wiesen wir darauf hin: man drehe eine schwach cylindrische Linse z. B. $^1/_{80}$ vor dem Auge rundherum, und ich bezweifle sehr, dass man Jemand finden wird, dem nicht der Unterschied der Sehschärfe bei zwei entgegengesetzten Stellungen auffiele. Die Empfindlichkeit dieses Versuches bedarf kaum einer Erklärung. Gesetzt, es habe Jemand $^1/_{80}$ Astigmatismus, so wird derselbe bei einer bestimmten Stellung der Linse corrigirt werden und bei einer entgegengesetzten vergrössert bis zu $^1/_{80} + ^1/_{80} = ^1/_{40}$, ein Grad, der bereits sehr störend ist. Immer erhält man bei der nachtheiligsten Stellung die Summe, bei der vortheilhaftesten nur die Differenz der astigmatischen Wirkungen der cylindrischen Linse und des Auges.

10. Methode von Stokes. Der berühmte Entdecker der veränderlichen Brechbarkeit des Lichtes sah sehr wohl ein, dass bei der Methode von Airy nur dann ein genügendes Resultat erreicht werden kann, wenn während der Bestimmung des Fernpunktes erst in dem einem, und dann im anderm Hauptmeridian, der Accommodationszustand des Auges keine Veränderung erlitt. Bei seiner Methode wird diese Schwierigkeit aus dem Wege geräumt. Er will den Grad des Astigmatismus bestimmen durch eine astigmatische Linse, welcher man auf eine ebenso einfache als scharfsinnige Weise gerade die Stärke ertheilen kann, dass sie den Astigmatismus des Auges corrigirt. Ich habe solche Linsen anfertigen lassen und gebe eine Beschreibung des Apparates in der Form, welche mir die zweckmässigste schien: das Princip

ist ganz das der astigmatischen Linse von Stokes, welchen Namen denn auch der Apparat behalten möge. Er besteht (Fig. 12 B, im Durchschnitt gesehen,) aus zwei

Fig. 12.



cylindrischen Linsen, die eine plan-convex l von $^1/_{10}$, die andere plan-concav l' von - $^1/_{10}$. Dieselben sind in kurzen kupfernen Cylindern befestigt, erstere in K, letztere in K', welche bei x in einander passen und um ihre Achse umeinander drehbar sind. Dabei drehen sich dann auch die Linsen $l\,l'$ deren Plan-Flächen sich in geringer Entfernung gegenüber liegen, um einander. Fig 12 A giebt eine Ansicht des Apparates von der Aussenseite. Man bemerkt auf K einen Index i, auf K' eine Gradeintheilung. Zeigt der Index auf 0° oder auf 180°, so sind die Achsen der beiden cylindrischen Linsen parallel: der Durchschnitt der Linsen stellt sich dann dar wie in B, so dass sie beide zusammen als eine concav-convexe cylindrische Linse mit gleichem Krümmungsradius beider Flächen betrachtet werden können, deren Wirkung nahezu = 0 ist. Zeigt der Index auf 90° oder auf 270°, so stehen die Achsen der cylindrischen Gläser lothrecht aufeinander. Hierbei hat der Apparat sein Maximum m von astigmatischer Wirkung: Parallele Strahlen, welche mit der Achse von l' in einer Ebene liegen, erleiden durch l' keine Ablenkung, werden aber durch l nach dessen in 10″ gelegener Brennweite convergent gemacht; parallele Strahlen dagegen, welche mit der Achse von l zusammen-

fallen, werden durch l' divergent gemacht, als ob sie von einem 10″ vor der Linse gelegenem Punkt ausgingen, ohne dass sie durch l von diesem Wege abgelenkt würden. In dem einen Meridian bekommen wir also einen Astigmatismus von $^1/_{10}$, im entgegengesetzten von $-^1/_{10}$ und der Astigmatismus m der bei dieser Stellung der Linsen gebrochenen Strahlen beträgt daher $^1/_5$. Es ergiebt sich also, dass durch eine Umdrehung von 0° bis 90° des Astigmatismus von 0 bis $^1/_5$ wächst und nach einer einfachen Formel

$$As = m \sin. \alpha$$

kann man den Astigmatismus für jeden Winkel α, den die Achsen der Linsen mit einander machen, berechnen. Bequemlichkeitshalber sind auf dem Apparat bestimmte Grade von Astigmatismus unmittelbar angegeben, wodurch die Berechnung überflüssig wird.

Die Anwendung dieses Apparates ist leicht verständlich. Mangelt bei genauester Accommodation oder Reduction für die Ferne die normale Sehschärfe, und vermuthet man das Bestehen von Astigmatismus, so stellt man den Apparat ungefähr für den Grad von Astigmatismus ein, welchen die Sehstörung vermuthen lässt (lieber etwas zu schwach als zu stark) und dreht denselben, während das Auge auf die Lettern fixirt bleibt, vor demselben rundherum. Zeigt sich nun bei einer bestimmten Stellung Verbesserung, so kann man die Wirkung der astigmatischen Linse vermehren oder vermindern, bis das Maximum der Deutlichkeit erreicht ist.

Man stelle sich aber nicht vor hiermit seinen Zweck erreicht zu haben. Denn selten ist das Auge alsdann für die Entfernung, in welcher die Buchstaben sich befinden gehörig eingerichtet. Durch die Wirkung der astigmatischen Linse neigt sich nämlich das Auge im Meridian des Krümmungsmaximum gerade eben so viel zu Hypermetropie, wie im Meridian des Krümmungsminimum zu Myopie, und es wird

nur dann Emmetropie erreicht sein, wenn das Auge zum deutlichem Sehen ohne die astigmatische Linse bei dem Versuch gerade einem solchem Glas den Vorzug gegeben hatte, durch welches seine beiden Hauptmeridiane auf gleiche Grade von Ametropie (resp. Hypermetropie und Myopie) gebracht wurden. Mitunter ist dieser Anforderung vollständig genügt, und der Zweck ist dann unmittelbar erreicht. Aber die Erfahrung lehrt, dass dies die Ausnahme ist. In der Regel bleibt bei der Correction des Astigmatismus ein geringer Grad von Ametropie fortbestehen, und dies ist wieder Ursache, dass das Urtheil, ob der Astigmatismus so vollkommen als möglich corrigirt ist, unsicher ausfällt. Bleibt etwas Myopie übrig, dann kann alles noch bald klar werden indem man das Object annähert, und wird nun dabei schärfer gesehen, so kann die Wirkung der astigmatischen Linse noch genauer festgestellt und geregelt werden; indessen, wenn auf diese Weise nach langem Suchen ein scharfes Resultat erreicht ist, so ist noch eine recht ausführliche Berechnung nöthig, um aus dem gebrauchten sphärischen Glas, aus der astigmatischen Wirkung der Linse und aus der grössten Entfernung, in welcher mit diesem Apparat scharf gesehen wird, die Ametropie in den beiden Hauptmeridianen — eine Kenntniss die wir bedürfen — abzuleiten. Bleibt aber Hypermetropie übrig, so ist, es sei denn, dass die Accommodation dafür eintrete, keine Entfernung zu finden in der scharf genug gesehen wird, um die astigmatische Wirkung der Linse vollkommen zu regeln, so dass dann die Zuhülfenahme einer zweiten sphärischen (positiven) Linse nothwendig wird, um für die Entfernung die Sehschärfe auf ihr Maximum zu bringen.

Es ergiebt sich aus Obigem, dass die Methode sich für die Praxis nicht sehr empfiehlt. Am besten genügt sie dann, wenn man das Auge durch sphärische Gläser auf einen gewissen Grad von Myopie reducirt und nun probiren lässt

bei welcher Wirkung der astigmatischen Linse am besten in der Nähe gelesen wird. Doch ist es hierbei schwieriger dafür zu sorgen, dass die Linsen vollständig centrirt vor das Auge gehalten werden, ferner fällt das Urtheil über die Sehschärfe weniger sicher aus, und — immer wird man nur den Grad des Astigmatismus, keineswegs den der Refraction in jedem der Hauptmeridiane kennen gelernt haben.

Aus allen diesen Gründen verdient die unter 4° beschriebene Methode den Vorzug und kommt die astigmatische Linse von Stokes hauptsächlich nur zur Controle in Anwendung. Hat man nämlich aus den erhaltenen Resultaten abgeleitet, durch welches sphärische Glas die Brechung in den beiden Hauptmeridianen auf gleiche Grade von Ametropie (resp. Myopie und Hypermetropie) gebracht wird, so kann man mit Hülfe der astigmatischen Linse sehr scharf den Grad des Astigmatismus bestimmen, und hierbei bietet sie dann den Vortheil, dass man auf einfache Weise ihre Wirkung genau regeln kann, so dass man sogar im Stande ist, kleine Ungenauigkeiten in den durch obenerwähnte Methode erhaltenen Resultaten dadurch zu entdecken und zu verbessern.

Es ist hier am Platze daran zu erinnern, dass oben (pag. 29) bereits die astigmatische Linse von Stokes gebraucht wurde bei der Construction eines Apparates, um die Erscheinungen des Astigmatismus in sehr verschiedenen Graden auf einem Schirm zu veranschaulichen. Das dort Gesagte wird in der hier gegebenen Erklärung seine Erläuterung gefunden haben.

B. Wir haben nun noch ein Wenig über die objectiven Kennzeichen des Astigmatismus zu sagen.

Sie müssen den subjectiven in so fern nachstehen, als sie durchgehends nicht mit gleicher Sicherheit die Anwesenheit und nie den Grad des Astigmatismus anzeigen. Aber ihr Zusammenhang mit der Ursache dieser Abnormität

giebt ihnen einen hohen Werth. Dies gilt besonders von den Erscheinungen, welche sich auf die Form des Bulbus beziehen. Eine zweite Reihe objectiver Kennzeichen liefert die Untersuchung mit dem Augenspiegel.

1. Am häufigsten kommt Astigmatismus bei Hypermetropie vor. Zeigt sich bei derselben die Sehschärfe ungenügend, so ist in der Regel Asymmetrie im Spiel. Deshalb sind schon die objectiven Zeichen von Hypermetropie nicht ohne Werth. Als solche nennen wir eine flache Gesichtsbildung mit wenig Relief, geringe Krümmung der Vorderfläche der Sclerotica, eine (an der Aussenseite des soweit als möglich nach innen gewendeten Auges sicht- und fühlbare) schnelle Umbiegung am Aequator, welche uns auf Kürze der Sehachse schliessen lässt, enge vordere Augenkammer, relativ kleine Pupille und scheinbarer Strabismus divergens. Bestimmtere Zeichen liefert nun manchmal die Cornea. Mitunter erkennt man unmittelbar ihre Asymmetrie, sie ist in verticaler Richtung entweder kürzer oder reicht weiter nach hinten, als Folge einer stärkeren Krümmung, so dass die Durchschnitte zwischen Cornea und Sclerotica nicht in einer Ebene liegen. In andern Fällen sind es Unterschiede in der Grösse des Spiegelbildes in verticaler und horizontaler Richtung, welche unsere Aufmerksamkeit fesseln. Ein Viereck, z. B. das (pag. 47) erwähnte Brettchen, wird mit grösserer horizontaler Breite gespiegelt. Die Asymmetrie der Cornea ist hiermit denn erwiesen und gewöhnlich entspricht derselben die des gesammten Apparates. Selbst in der Form der Sclerotica findet man diesen Unterschied wieder; manchmal kann man sich, wenigstens bei Hypermetropen, in vivo bereits überzeugen, dass die verticale Achse des Auges ansehnlich kleiner ist als die horizontale.

2. Die Untersuchung mit dem Augenspiegel giebt gleichfalls bei Hypermetropen den sichersten Hinweis auf das Vorhandensein von Astigmatismus. In einem normalen

Auge sieht man (wenn man nicht etwa selbst astigmatisch ist) die in verschiedenen Richtungen von der Oberfläche des Sehnerven ausgehenden Gefässe mit einer und derselben Accommodationsspannung gleich deutlich. In einem astigmatischen Auge ist dies nicht mehr der Fall. Man bemerkt, dass man den Accommodationszustand seines Auges ändern muss, um Gefässe die nahe an der Sehnerven-Oberfläche in verschiedenen Richtungen verlaufen, nach einander scharf zu sehen. Der Regel nach sieht der Emmetrop im Ruhezustand seiner Accommodation horizontal verlaufende Gefässe scharf gezeichnet, und muss um vertical verlaufende ebenso deutlich zu sehen, sein Accommadationsvermögen gebrauchen. Die Erklärung dieses Unterschiedes liegt auf der Hand. Die vertical verlaufenden sieht man erst scharf, wenn diejenigen der von ihnen ausgehenden Strahlen, welche in einer Horizontal-Ebene divergiren im Auge des Beobachters zur Vereinigung kommen, und ist das untersuchte Auge hypermetropisch im horizontalen Meridian, so behalten die zu dieser Ebene gehörenden Strahlen ausserhalb des Auges eine divergirende Richtung, so dass von Seiten des Beobachters eine Accommodations-Thätigkeit nöthig ist, um sie zur Vereinigung zu bringen. Dagegen werden die horizontalen Gefässen angehörenden Strahlen, welche im verticalen Meridian divergiren, bei Emmetropie dieser Ebene, ausserhalb des beobachteten Auges parallel werden, und desshalb werden diese Gefässe ohne Accommodationsanstrengung deutlich gesehen. — Bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde kehrt auch diese Erscheinung sich um, und ist zugleich aus mehr als einem Grunde weniger merklich, denn abgesehen von der geringeren Verschiedenheit der verlangten Accommodationsanstrengung kommt hierbei zuviel darauf an, welche Richtung der Achse der vor das Auge gehaltenen Linse ertheilt wird, wodurch diese Differenz ausgeglichen werden kann.

Auf eine zweite Erscheinung im Augenhintergrund bei Astigmatismus hat Dr. Knapp in der 1861 zu Heidelberg gehaltenen Zusammenkunft bereits aufmerksam gemacht. Ich meine die Formveränderung der Sehnervenfläche. In der Richtung des Meridians der stärksten Krümmung wird bei Untersuchung im aufrechten Bild ihr Durchmesser mehr, im Meridian der schwächsten Krümmung weniger vergrössert gesehen. Das Gegentheil ist bei der Untersuchung im umgekehrten Bild der Fall. Die hieraus sich ergebende Formveränderung würde ein sehr brauchbares Kennzeichen seien, wenn die Durchmesser der Sehnervenfläche in verschiedenen Meridianen nicht oftmals wirklich ungleich wären, und daher auch in nicht astigmatischen Augen ungleich gesehen würden. Verwerflich ist aber dies Kennzeichen durchaus nicht.

VI.

Ursache und Sitz des abnormen Astigmatismus.

Der abnorme Astigmatismus ist als ein stärkerer Grad der dem normalen Auge eignen Asymmetrie zu betrachten, dies folgt daraus, dass beide in Bezug auf den Sitz der Asymmetrie und die Richtung der Hauptmeridiane übereinstimmen.

Die Ursache des normalen Astigmatismus ist in der Regel — obgleich der Einfluss der Krystalllinse nicht ausgeschlossen ist, und ausnahmsweise sogar überwiegt — grösstentheils in der Hornhaut zu suchen, und die Richtung der Hauptmeridiane des gesammten dioptrischen Apparates ist der Art, dass sich der Meridian des Krümmungsmaximum dem verticalen, der des Krümmungsminimum dem horizontalen Meridian zu nähern pflegt.

Für die abnormen Grade der Asymmetrie gelten dieselben Regeln. Was noch mehr ist: hier erleiden sie kaum eine Ausnahme. Ist es beim normalen Astigmatismus keine

Seltenheit zu nennen, dass der Meridian des Krümmungsmaximum einen kleineren Winkel mit der Horizontalen als mit der Verticalen einschliesst, so habe ich davon bei abnormen Graden kaum Ausnahmen gefunden. Und was den Sitz der Asymmetrie anlangt, so zeigten sich alle störenden Grade von Astigmatismus — abgesehen von ein paar Fällen von nachweisbarer Ectopie der Linse worauf wir später zurückkommen — mit einer ungewöhnlichen Asymmetrie der Cornea verbunden und davon abhängig. Gerade der hohe Grad dieser Asymmetrie erklärt es, dass sie dem Einfluss der Krystalllinse gegenüber ohne Ausnahme das Uebergewicht behält.

Untenstehende Tafel enthält die Untersuchungs-Resultate.

No.	Namen.	Geschlecht.	Auge.	I. ϱ^0 hor. mm.	II. ϱ^0 vert. mm.	III. F'' horiz. in Par. Zoll.	IV. F'' vertic. in Par. Zoll.	V. As = 1 :
1	Vl.	w.	D.	8,00	7,29	1,1737	1,0695	10,78
2	„	„	S.	7,80	7,48	1,1444	1,0975	20,04
3	Vo.	m.	D.	8,29	7,56	1,2163	1,109	9,43
4	„	„	S.	8,14	7,67	1,1943	1,125	14,51
5	Rr.	m.	D	8,32	7,30	1,221	1,071	6,374
6	„	„	S.	8,38	7,38	1,2295	1,083	6,800
7	Rr. Jr.	m.	S.	8,44	7,69	1,2383	1,1283	9,504
8	Fr.	m.	D.	8,72	7,13	1,2794	1,0461	4,293
9	„	„	S.	8,40	7,25	1,2325	1,0637	5,811
10	Pg.	m.	D.	7,93	7,50	1,1635	1,1004	15,18
11	Rm.	m.	S.	8,74	8,04	1,2814	1,1797	11,02
12	Im.	m.	D.	7,96	7,34	1,1679	1,0770	10,35
13	„	„	S.	8,28	7,33	1,2149	1,0755	7,013
14	Vg.	m.	S.	8,29	7,69	1,2163	1,1283	11,67
15	Dr.	m.	D.	7,69	7,25	1,1283	1,0637	13,90
16	„	„	S.	7,84	7,26	1,1503	1,0652	10,77
17	And.	m.	D.	8,19	7,50	1,2017	1,1004	9,767
18	„	„	S.	8,16	7,43	1,1973	1,0902	9,118
19	Ren.	m.	D.	8,11	7,23	1,1899	1,0607	7,310
20	Sch.	m.	D.	8,91	7,82	1,3073	1,1474	7,019
21	„	„ „	S.	8,81	7,96	1,2927	1,1679	9,051

Sie ist nach denselben Prinzipien angeordnet und auf dieselbe Weise berechnet, wie die auf S. 24 vorkommende auf den normalen Astigmatismus bezügliche Tafel, und umfasst 21 Falle von Herabsetzung der Sehschärfe durch abnormen Astigmatismus.

In den meisten dieser Fälle wurden die Messungen angestellt, welche zur Berechnung der Elemente der Ellipse, sowohl im vertikalen als im horizontalen Durchschnitt nothwendig sind. Wir lassen sie hier als nicht nothwendig zur Sache gehörig bei Seite. Nur das wollen wir bemerken, dass die Excentricität der elliptischen Durchschnitte im verticalen Meridian durchgehends ungewöhnlich klein ausfiel. Erwähnung verdient es auch, dass, besonders wenn Hypermetropie im Spiel war, die Sehlinie meistens mit der Hornhautachse einen grossen Winkel (7° bis 9°) einschloss, was um so weniger befremdlich ist, als, wie zahlreiche gemeinschaftlich mit Dr. Doijer angestellte Messungen[1]) gelehrt haben, der Winkel zwischen der Sehlinie und der Hornhautachse im Allgemeinen bei Hypermetropen gross ist.

Die Tafel bedarf nur wenig Erklärung. Von den fünf nummerirten Colonnen enthält

I. in Millimetern: den Hornhautradius einer horizontal durch die Sehlinie gelegten Ebene.

II. in Millimetern: diesen Radius in einer vertical durch die Sehlinie gelegten Ebene.

III. in Pariser Zoll: die hintere Brennweite der Cornea in I.

IV. in Pariser Zoll: die hintere Brennweite der Cornea in II.

V. in Pariser Zoll: die Brennweite der cylindrischen Linse, welche in der erforderlichen Richtung unmittelbar

---

1) Verslagen en Mededeelingen van de Koninkl. Akademie van Wetenschappen, 1862.

vor die Cornea gehalten die Brennweiten III und IV gleich machen würde. Der Grad des von der gefundenen Asymmetrie der Cornea abhängigen Astigmatismus ist daher 1 : 10,78, 1 : 20,04 u. s. w. — D bedeutet rechtes, S linkes Auge. Bei einigen Personen sind beide Augen, bei andern nur eines gemessen. Ferner bezeichnet m. männliches, w. weibliches Geschlecht. Im Ganzen habe ich Asymmetrie mehr bei Männern als bei Frauen gefunden; bei letzteren sind jedoch auch relativ weniger Messungen angestellt.

Es ergiebt sich, dass in allen Fällen der Radius der Cornea in der Vertical-Ebene beträchtlich kleiner ist, als in der horizontalen, dass daher die Form der Cornea, ohne Ausnahme, nicht nur von einem hohen Grad von Astigmatismus Rechenschaft gab, sondern auch im Besondern von einem Astigmatismus mit kürzerer Brennweite im verticalen Meridian, ganz in Uebereinstimmung mit dem, was, ebenfalls ohne Ausnahme, hinsichtlich des gesammten dioptrischen Apparates bemerkt wurde.

Die hohe Bedeutung der Asymmetrie der Cornea springt besonders deutlich in die Augen bei einem Vergleich mit der auf pag. 24 gegebenen Tafel, welche die Beobachtungs-Resultate bei normalen Augen mit vollkommener Sehschärfe enthält. Das hier gefundene Maximum der Asymmetrie bleibt noch unter dem Minimum, welches sich auf der Tafel für die Fälle von abnormen Astigmatismus verzeichnet findet, abgesehen von No. 2 der abnormen, wo nur eine sehr geringe Sehstörung bestand ($S = 2/3$) und von No. 14 der normalen, wo sich bei genauerer Untersuchung keine vollkommene Sehschärfe zeigte ($S = 4/5$). Bei No. 7, dessen linke Cornea die vorhandene Sehstörung erklärte, war auf dem rechten Auge das Sehvermögen vollkommen, und in Uebereinstimmung hiermit wurden auf diesem Auge die Krümmungs-Radien in beiden Ebenen gleich gefunden: ϱ^0 horiz. $= 8,11$ ϱ^0 vertic. $= 8,10$.

Nummer.	Namen.	Ge-schlecht.	Auge.	I. ϱ^0. Hor.	II. ϱ^0. Vert.	III. Brechungs-Zustand im Haupt-Meridian. Horiz.	III. Brechungs-Zustand im Haupt-Meridian. Vert.	IV. Astigmatismus Gefunden.	V. Astigmatismus Aus der Cornea berechnet.	VI. Richtung des Haupt-Meridians.
1	Vn.	M.	D.	8,29	7,56	$H = \frac{1}{50}$	$M = \frac{1}{5}$	1 : 4,55?	1 : 9,43	
2	„	„	S.	8,14	7,67	$H = \frac{1}{15\frac{1}{2}}$	$M = \frac{1}{36\frac{1}{2}}$	1 : 10,88	1 : 14,51	
3	Br.	„	D.	8,32	7,30	$H = \frac{1}{4\frac{1}{2}}$	$H = \frac{1}{28}$	1 : 5,366	1 : 6,374	
4	Rsr.	„	S.	8,44	7,69	$H = \frac{1}{8}$	E	1 : 8	1 : 9,504	
5	Ad.	„	D.	8,19	7,50	$H = \frac{1}{10}$	$M = \frac{1}{20}$	1 : 6,66	1 : 9,767	
6	„	„	S.	8,16	7,43	$H = \frac{1}{8}$	$M = \frac{1}{50}$	1 : 6,897	1 : 9,118	
7	Rn.	„	D.	8,11	7,23	$H = \frac{1}{5\frac{3}{4}}$	$H = \frac{1}{40}$	1 : 6,715	1 : 7,310	
8	Sn.	„	D.	8,91	7,82	$H = \frac{1}{5\frac{1}{2}}$	$H = \frac{1}{28}$	1 : 6,844	1 : 7,019	
9	„	„	S.	8,81	7,96	$H = \frac{1}{8\frac{1}{2}}$	$H = \frac{1}{60}$	1 : 9,900	1 : 9,051	
10	Vn.	„	S.	8,29	7,69	$H = \frac{1}{45}$	$M = \frac{1}{30}$	1 : 18	1 : 11,67	



Angesichts dieser Thatsachen ist es unverkennbar, dass der abnorme Astigmatismus in einer Asymmetrie der Cornea seine Erklärung findet.

Eine andere Frage ist es, ob der Einfluss der Krystalllinse in diesen Fällen, bei denen die Asymmetrie der Cornea in den Vordergrund tritt ganz bei Seite gelassen werden kann. Umstehende Tafel auf welcher für 10 Augen der aus der Cornea berechnete Astigmatismus (Colonne V) mit dem wirklich gefundenen (Colonne IV) verglichen wurde, giebt hierauf eine ziemlich genügende Antwort. Der Grad des Astigmatismus (Colonne V) wurde gefunden aus dem Grad der in beiden Hauptmeridianen vorhandenen Ametropie, zu welchem Behufe bei künstlicher Accommodationsparalyse bestimmt wurde, mit welchen Linsen (Meth. 2. pag. 47) ein Lichtpunkt nach einander in zwei entgegengesetzten Richtungen als dünnster Streifen (Colonne VI) gesehen wurde. Das Resultat lehrt, dass nur zwei Fälle (No. 9 und 10) ausgenommen, der aus der Cornea berechnete Astigmatismus geringer ausfiel, als der wirklich gefundene. Gerade das war zu erwarten, wenn die Linse keinen oder nur geringen Antheil daran hatte. Wir haben nämlich den Astigmatismus des gesammten Apparates in den beiden Hauptmeridianen bestimmt, welche der Richtung der die Brennstrecke begrenzenden Linien entsprechen. Der Astigmatismus der Cornea dagegen, ist berechnet aus den Krümmungsradien, welche für eine horizontale und eine verticale Ebene gefunden wurden. Nun weichen (vgl. VI.) für die 10 auf der Tafel verzeichneten Fälle die Hauptmeridiane mehr oder weniger von diesen Ebenen ab, und schon eine unbeträchtliche Abweichung lässt den kleinsten Krümmungsradius merklich grösser, den grössten kleiner ausfallen. Dies erklärt hinreichend die bei 5 und 6 gefundene Differenz, und stimmt überein mit der kleineren, welches 3, 4, 7 und 8 zeigen. Was die grosse Differenz von 1 anlangt,

so ist diese abhängig von einer ungenauen Bestimmung des Astigmatismus. Die Fälle sind untersucht als ich noch keine bessere Methode als die unter 3 pag. 47 beschriebene hatte, bei deren Würdigung bemerkt wurde, dass sie, wenn ein starker unregelmässiger Astigmatismus im Spiel ist, viel zu wünschen übrig lässt. Dies gilt nun für No. 1 in so hohem Maasse, dass das Resultat gleich damals als sehr unsicher betrachtet wurde; eine spätere Untersuchung nach andern Methoden ergab denn auch, dass der regelmässige Astigmatismus dieses Auges nicht 1 : 4,55, sondern nur $1/8$ beträgt. Damit ist denn auch für diesen Fall die grosse Differenz beseitigt. So bleiben denn nur No. 9 und 10 übrig, in denen ein Einfluss der Linse angenommen werden muss und zwar in einem der Wirkung der Cornea entgegengesetztem Sinne. Auf Grund alles obenstehenden sind wir in jeder Hinsicht berechtigt, den Schluss zu ziehen, dass die Ursache des abnormen Astigmatismus zum grösstentheil in einer Asymmetrie der Cornea zu suchen ist.[1])

Hierbei erhebt sich nun die Frage, ob bei dieser Asymmetrie der Radius im horizontalen Meridian grösser oder im verticalen Meridian kleiner ist, als der des normalen symmetrischen Auges. Zuerst kann ich hierauf antworten, dass er im horizontalen Meridian beträchtlich grösser zu sein pflegt als in normalen Augen. Für 120 Augen mit vollkommner Sehschärfe bei Männern fand ich nämlich ϱ^0 im horizontalen Meridian im Mittel 7,858 mm., als Maximum 8,396, als Minimum 7,291. Darunter waren viele Myopische und

1) In 8 oder 10 astigmatischen Augen wurden des besseren Vergleiches wegen die Krümmungsradien der Cornea in ihrer Mitte, d. h. möglichst in der Achse der Cornea, und dabei in Ebenen bestimmt, die mit den für die Hauptmeridiane gefundenen Richtungen zusammenfielen. Auf der im September 1861 zu Heidelberg gehaltenen Versammlung von Ophthalmologen habe ich dies bereits erwähnt. Zum grössten Theil hat Dr. Haffmanns die Messungen angestellt. Es thut mir daher doppelt leid, bekennen zu müssen, dass sie verloren gegangen sind.

Hypermetropische bis zu den höchsten Graden, diese zeigten jedoch keine bedeutende Differenz.[1]) Die auf der Tafel (pag. 63) zusammengestellten 19 asymmetrischen Augen männlicher Individuen geben dagegen im Mittel 8,291, beinahe so viel als das bei symmetrischen Augen gefundene Maximum, und darunter sind nicht weniger als fünf, welche dies Maximum noch überschreiten, nämlich $\varrho^0 = 8{,}44$, $\varrho^0 = 8{,}72$, $\varrho^0_2 = 8{,}74$, $\varrho^0 = 8{,}81$ und $\varrho^0 = 8{,}91$. Was den Werth von ϱ^0 im verticalen Meridian anlangt, so ist dieser bei asymmetrischen Augen kleiner als in symmetrischen, doch ist hier die Differenz allerdings nicht so beträchtlich. Im Mittel fanden wir für die ersteren (Tafel pag. 63) ϱ^0 vert. $= 7{,}439$. Von ϱ^0 vertic. in symmetrischen Augen besitze ich nur die pag. 24 gegebenen Bestimmungen, welche einen mittleren Werth von 7,695 liefern. Es ergiebt sich also, dass bei Asymmetrie des Auges ϱ^0 im horizontalen Meridian durchgehends den normalen Werth mehr übersteigt, als ϱ^0 im verticalen dahinter zurückbleibt.

Ausser der angeborenen Formveränderung der .Hornhaut können verschiedene erworbene Zustände abnormen Astigmatismus veranlassen. Diese verdienen eine besondere Würdigung, und sollen bei den klinischen Formen, unter denen Astigmatismus vorkommt, in §. VIII. zur Sprache kommen.

Endlich muss hier noch mit einem Wort angedeutet werden, dass, wo die Cornea keine Asymmetrie zeigt, die Linse der Sitz von abnormem Astigmatismus sein kann. Wo ich hierauf schliessen musste, war eine beträchtliche Abweichung in der Lage der Linse zu constatiren, so dass ich niemals Veranlassung fand, eine Abweichung in der Form der Linse als Ursache von Astigmatismus anzunehmen.

Es bietet ungewöhnliche Schwierigkeiten, den Antheil der

---

1) Vergl.: Verslagen en Mededeelingen van de Koninklijke Akademie van Wetenschappen 1860; und Tweede Jaarlijksch Verslag betrekkelijk de verpleging en 't onderwijs in het Nederlandsch gasthuis vor ooglijders, met wetenschappelijke bijbladen. Utrecht 1861, bl. 25.

Krystalllinse am Zustandekommen des Astigmatismus des gesammten lichtbrechenden Apparates mit Genauigkeit zu bestimmen. An eine objective Untersuchung über Asymmetrie der Krümmungsflächen der Linse im lebenden Auge ist vor der Hand nicht zu denken. Das Ausschliessen der Hornhautwirkung durch Eintauchen des Auges in einen mit Wasser gefüllten Tubus, der vorn durch eine die Hornhaut ersetzende Linse geschlossen ist (Methode von Young), stösst auf praktische Schwierigkeiten verschiedener Art. Es bleibt daher nichts übrig, als einestheils den Astigmatismus des Auges durch subjective Sehprüfungen (nach den in §. V. beschriebenen Methoden) anderntheils die Form der Cornea mit Hülfe des Ophthalmometer genau zu bestimmen, uud den hieraus berechneten Astigmatismus mit dem totalen zu vergleichen. Man muss also die Krümmungsradien der Cornea in deren Hauptmeridianen kennen und a priori ist man nicht zu der Annahme berechtigt, dass diese mit den für den gesammten dioptrischen Apparat gefundenen Hauptmeridianen zusammenfallen. Aber wäre man auch dazu berechtigt, so macht es Schwierigkeiten, dem Kopfe bei der Bestimmung eine Lage zu geben, welche der Richtung dieser Meridiane vollkommen entspricht. Muss man nun noch dazu, um den Krümmungsradius des Hornhaut-Scheitels zu berechnen, abwechselnd nach verschiedenen Visirpunkten sehen lassen, so hat man auch noch in Folge der Augenbewegungen Veränderungen in der Lage der Meridiane zu erwarten. Es bleibt also kein anderes Mittel übrig, als die Lichter selbst sich in einer Vertical-Ebene um einen Punkt drehen zu lassen, auf welchen, sowohl die Achse der Cornea, als die des Ophthalmometers gerichtet ist, und auf diese Weise sich die Lichter abwechselnd in verschiedenen Meridianen der Cornea spiegeln zu lassen, während man den Glas-Platten des Ophthalmometers dieselbe Lage giebt. Eine derartige Einrichtung, die es möglich macht, den Krümmungs-Radius des Hornhaut-Scheitels in allen Meridianen zu bestimmen, wurde eben jetzt hier zu Stande gebracht. Die damit zu erhaltenden Resultate sollen später mitgetheilt werden. Die grösste Schwierigkeit besteht darin, den Visirpunkt zu finden, bei welchem die Hornhautachse

auf den Punkt gerichtet ist, um welchen sich die gespiegelten Lichter drehen. Ist dies geglückt, dann sind die Messungen bald angestellt.

Ich will nicht unterlassen, zu bemerken, dass die Horizontal- und Vertical-Ebenen, deren Radien in obenstehenden Tabellen mitgetheilt sind, nicht nur keine Hauptmeridiane, sondern überhaupt keine Meridiane sind. Bei der Ausführung der Bestimmungen war die Sehlinie nach der Achse des Ophthalmometers, das heisst nach dem Mittelpunkt der Verbindungslinie der Flammen gerichtet, deren Spiegelbilder gemessen wurden. Die betreffenden Ebenen sind also durch die Sehlinie, nicht durch die Hornhautachse gelegt, und auch in diesen Ebenen wurde, wegen der seitlichen Abweichung der Sehlinie, nicht der kleinste Radius gefunden. Indessen ist die hierdurch eingeführte Ungenauigkeit nicht so gross, dass sie der Zuverlässigkeit der Schlussfolgerungen Abbruch thäte.

VII.

Cylindrische Linsen und allgemeine Regeln ihrer Anwendung.

Regelmässiger Astigmatismus kann, wie oben bemerkt, dargestellt werden, indem man eine sphärische Linse mit einer cylindrischen verbindet.

Die Wirkung einer cylindrischen Linse kann nun wieder durch eine zweite solche Linse von gleicher Brennweite aufgehoben werden. Sind diese cylindrischen Linsen beide positiv oder negativ, so müssen zum Zwecke der gegenseitigen Neutralisirung die Achsen der cylindrischen Flächen senkrecht aufeinander stehen; ist dagegen die eine positiv, die andere negativ, so wird dieser Zweck bei parallelem Stand der Achsen erreicht. Letzteres ist der Fall bei der astigmatischen Linse von Stokes, ihre Wirkung ist bei parallelem Stand der Achsen = 0. Ersteres kommt bei den sogenannten Uhrmacher-Lupen zur Anwendung, welche

zwei convex cylindrische Flächen von gleicher Brennweite haben, deren Wirkung bei gekreuzter Stellung der Krümmungs-Achsen nahezu mit der der gewöhnlichen biconvexen Lupen übereinkommt. Sind beide Cylinderflächen concav, so erhält man bei Kreuzung der Achsen neben Aufhebung des Astigmatismus zugleich die Wirkung einer negativen sphärischen Linse.

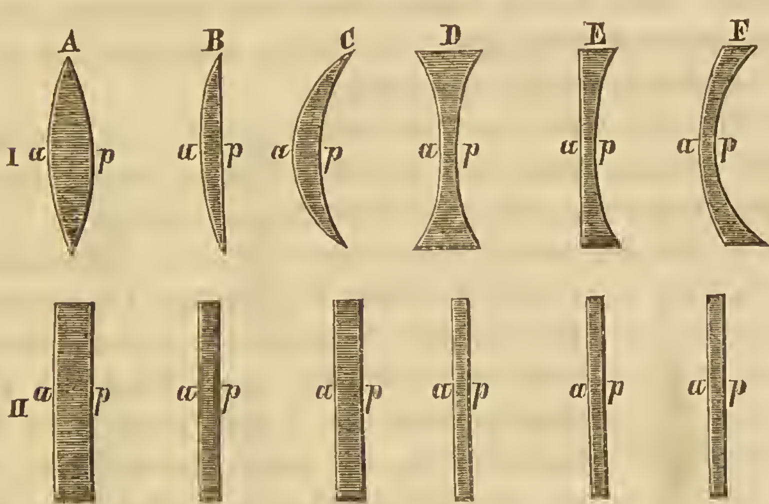
Ebenso wie die Wirkung einer cylindrischen Linse durch eine zweite aufgehoben werden kann, kann nun auch der regelmässige Astigmatismus durch eine cylindrische Linse corrigirt werden. Um sich eine deutliche Vorstellung von dieser Correction zu machen, nehme man die betreffenden Prüfungen an seinem eignem Auge vor. Eine cylindrische Linse z. B. von $^1/_{10}$ macht astigmatisch und giebt Veranlassung zu eigenthümlichen, früher bereits beschriebenen Sehstörungen. Eine zweite cylindrische Linse von $-^1/_{10}$ mit parallel gerichteter Achse neutralisirt die Wirkung der ersteren vollständig, so dass von dem Vorhandensein von Gläsern vor dem Auge kaum noch etwas bemerkt wird. Ist dagegen die zweite cylindrische Linse, ebenso wie die erste, eine positive von $^1/_{10}$, so wird bei rechtwinkliger Lage der Krümmungsachsen zueinander der Astigmatismus corrigirt; dabei ist aber gleichzeitig das Auge myopisch geworden, und zwar in dem Grade, dass der Fernpunkt eines zuvor emmetropischen Auges (die Entfernung zwischen Glas und Auge nicht mit in Rechnung gebracht) in 10″ Entfernung liegt ($M = {}^1/_{10}$).

Die Gläser, die zur Correction von Astigmatismus gebraucht werden, können in drei verschiedene Klassen eingetheilt werden.

I. Einfach cylindrische Gläser (Fig. 13). Ebenso wie die sphärischen haben diese entweder eine positive oder eine negative Brennweite; erstere nennen wir einfach positive, letztere negative. Sind beide Flächen cylindrisch,

so sind ihre Achsen parallel. Um ihre Formen anschaulicher darzustellen, sind sie sowohl auf einem senkrecht durch die Achse gelegtem Durchschnitt (Fig. 13, I), als auf einem durch die Achse gehendem abgebildet (Fig. 13, II); die Flächen sind dabei als vordere *a* und hintere *p* unterschieden.

Fig. 13.



a. Zu den positiven gehören:

1. Die bi-convexe (Fig. 13 A).
2. Die plan-convexe (B).
3. Der concav-convexe oder positive Meniscus (C).

b. Zu den negativen gehören:

1. Die bi-concave (D).
2. Die plan-concave (E).
3. Der convex-concave oder negative Meniscus (F).

Hinsichtlich ihrer Vorzüge gilt ganz dasselbe wie von den sphärischen. Die plan-convexen und plan-concaven geben die grösste Aberration, die bi-convexen und bi-concaven sind (wenn nicht zu stark) im Allgemeinen sehr brauchbar, und die Meniscen haben den Vorzug, periscopisch zu sein.

Von den einfach cylindrischen Gläsern braucht man die von $^1/_{50}$ c bis $^1/_5$ c, und von - $^1/_{50}$ c bis - $^1/_5$ c, das heisst von 50 bis 5 Pariser Zoll sowohl negativer als positiver Brennweite. Dass diese Brennweite nur gilt für eine rechtwinklich auf der Krümmungsachse stehende Ebene, und dass in einer durch die Achse gelegten Ebene die Brennweite unendlich ist, braucht hier wohl kaum bemerkt zu werden: diese Linsen lassen daher auch in letzterer Richtung die Brennweite eines dioptrischen Apparates, mit dem sie verbunden werden, unverändert.

Ihre Art und ihre Stärke drücken wir, wie man das schon gesehen haben wird, auf dieselbe Weise wie für sphärische Gläser aus, nur unter Hinzufügung von c.

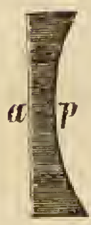
II. B i - c y l i n d r i s c h e G l ä s e r (Fig. 14). Diese haben zwei cylindrische Krümmungs-Flächen mit rechtwinklich zu einander liegenden Achsen. Sind beide Flächen zwar cylindrisch geschliffen, aber ihre Achsen parallel, so gehören sie zu den einfach cylindrischen, sei es zu den oben bereits beschriebenen biconvexen oder bi-concaven oder zu den Menisceu (Fig. 13 A, C, D und F). Bei den bi-cylindrischen ist in der Regel die eine Fläche convex, die andre concav, sowie es die beiden Durchschnitte, deren jeder durch eine der Achsen geht (Fig. 14 I *a*, II *p*) darstellen. Solche bi-cylindrische Gläser machen also parallel auffallende Lichtstrahlen in der Ebene der einen Achse convergent, in der Ebene der andern divergent. Ihre Wirkung kann ausgedrükt werden durch die mittelst des Zeichens eines rechten Winkels |‾ untereinander verbundenen Formeln für jede der beiden Flächen. Eine bi-cylindrische von 12″ positiver Brennweite für eine zur Achse der convex-cylindrischen Fläche lothrechte Ebene, und von

Fig. 14.

I



II

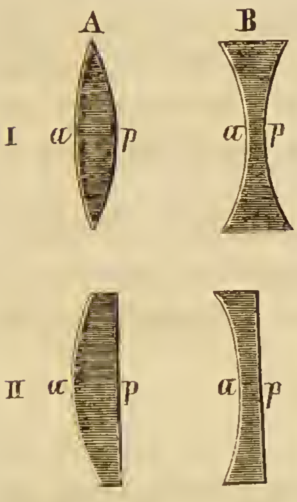


24″ negativer Brennweite für eine solche zur Achse der concav-cylindrischen Fläche lothrechte, wird daher bezeichnet durch:

$$\frac{1}{12}\,c \;\ulcorner\; -\frac{1}{24}\,c.$$

III. Sphärisch-cylindrische Gläser. Bei diesen Gläsern hat die eine Fläche eine sphärische (Fig. 15, I und II *a a*), die andere eine cylindrische Krümmung (I u. II *p p*).

Fig. 15.



Zur Anwendung kommen nur solche, deren beide Flächen entweder convex (A) oder concav (B) sind. Man kann sich diese Linsen denken als Combination einer plan-cylindrischen mit einer plan-sphärischen, welche beide man denn auch wirklich erhält, wenn man eine sphärisch-cylindrische Linse senkrecht zur Achse der sphärischen Fläche durchschneidet. Die Wirkung einer sphärisch-cylindrischen Linse ist gleich der der genannten Combination und kann ausgedrückt werden durch die mittelst eines Combinationszeichens $\mathrel{\substack{\frown\\\smile}}$ verbundenen Formeln jeder der beiden Flächen. Hat die sphärische Krümmung als planconcave Linse eine Brennweite von 12″, die cylindrische Krümmung als plan-convexe Linse eine Brennweite von 24″, so schreiben wir

$$\frac{1}{12}\,s \mathrel{\substack{\frown\\\smile}} \frac{1}{24}\,c,$$

was bedeutet, dass die positive Brennweite für einen durch die Achse der cylindrischen Fläche gelegten Durchschnitt 12″, für einen lothrecht darauf stehenden Durchschnitt ($^1/_{12} + {}^1/_{24} = {}^1/_8$) 8″ beträgt. Hat die sphärische Fläche als plan-concave Linse - $^1/_{18}$, die cylindrische als plan-

cylindrische $-\frac{1}{9}$, so giebt die combinirte sphärisch-cylindrische Linse

$$-\frac{1}{18}\,s \frown\!\!\!\smile -\frac{1}{9}\,c,$$

wobei die negative Brennweite in der Achse der cylindrischen Fläche 18″, lothrecht auf diese Achse ($\frac{1}{18}+\frac{1}{9}=\frac{1}{6}$) 6″ beträgt.

Es ist nun ersichtlich, welche cylindrischen Gläser den verschiedenen Formen von Astigmatismus (vergl. pag. 49 ff.) entsprechen. Vorläufig stellen wir uns hierbei die Aufgabe, gleichzeitig mit dem Astigmatismus die Ametropie zu corrigiren, das heisst, den Fernpunkt in unendliche Ferne zu bringen ($R = \infty$). Wir finden dann:

1. Der einfach myopische Astigmatismus wird corrigirt, durch eine einfache negativ cylindrische Linse (Fig. 13 D, E, F), von einer dem Grad des Astigmatismus entsprechenden Brennweite:

$$Am = \frac{1}{6}$$

durch Gläser von $-\frac{1}{5\frac{1}{2}}$ c, in $\frac{1''}{2}$ Entfernung vom Knotenpunkt.

2. Der zusammengesetzte myopische Astigmatismus erfordert eine negative sphärisch-cylindrische Linse, so wird, (die Entfernung zwischen Glas und Knotenpunkt nicht mit in Rechnung gezogen)

$$M\,\frac{1}{20} + Am\,\frac{1}{20}$$

corrigirt durch

$$-\frac{1}{20}\,s \frown\!\!\!\smile -\frac{1}{20}\,c \text{ (vergl. Fig. 15 B).}$$

3. Der einfach hypermetropische Astigmatismus Ah wird corrigirt durch einfach cylindrische, dem Grad des Astigmatismus entsprechende Gläser. Bei

$$\mathrm{Ah} = \frac{1}{8}$$

gebrauchen wir also ein Glas von

$$\frac{1}{8\frac{1}{2}}\ \mathrm{C}$$

in ½″ Entfernung vom Knotenpunkt.

4. Der zusammengesetzte hypermetropische Astigmatismus erfordert positive sphärisch-cylindrische Linsen.

$$\mathrm{H}\ \frac{1}{18} + \mathrm{Ah}\ \frac{1}{9}$$

wird corrigirt (die Entfernung zwischen Glas und Knotenpunkt nicht mit in Rechnung gezogen) durch

$$\frac{1}{18}\ \mathrm{s} \subset \frac{1}{9}\ \mathrm{c}.$$

5. Den gemischten Astigmatismus endlich heben bicylindrische Gläser:

$$\mathrm{Amh} = \frac{1}{18},$$

zusammengesetzt aus

$$\mathrm{M}\ \frac{1}{12} + \mathrm{H}\ \frac{1}{24},$$

wird corrigirt durch

$$\frac{1}{24}\ \mathrm{c} \ulcorner - \frac{1}{12}\ \mathrm{c}$$

und

$$\mathrm{Amh} = \frac{1}{18}$$

zusammengesetzt aus

$$\frac{1}{12}\ \mathrm{H} + \frac{1}{24}\ \mathrm{M}$$

durch

$$\frac{1}{12}\ \mathrm{c} \ulcorner - \frac{1}{24}\ \mathrm{c}.$$

Diese kurzen Schemata geben eine Richtschnur für die Wahl der Gläser, wenn mit dem Astigmatismus zugleich

die Ametropie corrigirt werden soll. Aber nicht immer wünscht man dies Ziel zu erreichen. Gewinnt durch die Correction des Astigmatismus das Sehvermögen unter allen Umständen, und kann man hiermit unbedenklich vorgehen, so ist es manchmal nicht angezeigt, das Auge zugleich auf Emmetropie zu reduciren. Was diese Reduction anlangt, so gelten hier bei Complication mit Astigmatismus dieselben Regeln, welche bei Ametropie im Allgemeinen Anwendung finden. Es kann daher nicht in meiner Absicht liegen dieselben hier in ihrem ganzen Umfang zu entwickeln, und ich werde also, wenigstens was die Myopie anlangt, mich darauf beschränken die Prinzipien anzugeben, auf welche Weise den aufgestellten Indicationen auch bei Complication mit Astigmatismus entsprochen werden kann.

Wir wissen, dass Ametropie bestimmt wird durch die grösste Entfernung des deutlichen Sehens R bei Entspannung der Accommodation, und dass sie corrigirt wird indem man $R = \infty$ macht. Befinden sich die Gläser $\frac{1}{2}''$ vor dem Knotenpunct, so ist

$$M = \frac{1}{6}$$

zu heben durch Gläser von

$$-\frac{1}{5\frac{1}{2}},$$

$$H = \frac{1}{6}$$

durch Gläser von

$$\frac{1}{6\frac{1}{2}}$$

Hypermetropie ist nun, wenigstens soweit sie manifest auftritt, unbedenklich zu neutralisiren. Es ist indessen bekannt, dass es unter dem Einfluss einer kräftigen Accommodation keine Möglichkeit ist, den manifesten Theil der Hypermetropie genau zu bestimmen, und dass derselbe

bei einem und demselben Auge das eine Mal grösser ein andres Mal wieder kleiner ausfällt. Als Brille zum anhaltenden Gebrauch geben wir nun solche Gläser, durch welche der höchste Grad der überhaupt angegebenen manifesten Hypermetropie beseitigt wird, und in dem Maasse als beim Gebrauch dieser Gläser der manifeste Theil der Hypermetropie zunimmt, gehe man systematisch zu immer stärkeren Gläsern über. — Dieselben Gläser können auch für die Arbeit in der Nähe versucht werden; ob sie genügen muss der Erfolg lehren. Ist ein grosser Theil der Hypermetropie latent, so ist es fast vorherzusehen, dass sie nicht genügen, und bei einigermaassen fortgesetzter Accommodations-Anspannung, nicht vor den Beschwerden der Asthenopie schützen werden. Ferneres Versuchen ist dann nutzlos oder selbst schädlich; es ist erwiesen, dass zum Arbeiten in der Nähe stärkere Gläser nöthig sind, und zwar solche, welche nicht allein die manifeste, sondern auch ungefähr die Hälfte der latenten Hypermetropie corrigiren. Indessen muss nach der Arbeit die schwächere Brille, welche nur den manifesten Theil der Hypermetropie aufhebt, jedesmal an Stelle der stärkeren treten. — Der wünschenswertheste Zustand würde der sein, dass die Hypermetropie ganz und gar manifest aufträte. Sie würde dann auch vollständig corrigirt werden können durch Gläser, welche sowohl zum immerwährenden Gebrauch als zur Arbeit gleich passend wären. Aber nur selten glückt es diesen Zustand zu erreichen. Erstens nämlich ist eine bleibende Accommodationsanspannung den Hypermetropen so zur Gewohnheit geworden, dass sie, so lange die Accommodation noch eine gewisse Activität besitzt, kaum davon lassen können; und zum andern lehrte mich eine Berechnung, dass bei Combination mit einem Convexglas, eine bestimmte Veränderung des dioptrischen Apparates des Auges eine geringere Accommodations-Breite repräsentirt. Hieraus folgt nun, dass

wenn auch die Accommodation sich durchaus entspannen kann, doch schon vor dem Lebensalter, in welchem das emmetropische Auge anfängt presbyopisch zu werden, das hypermetropische zum Arbeiten in der Nähe einer stärkeren Brille bedarf als diejenige, welche anhaltend getragen wird.

Die Regeln, welche für die Anwendung von Brillen bei Hypermetropie gelten, sind wie sich aus Obenstehendem ergiebt, einfach, und es macht keine Schwierigkeiten sie mit wenig Worten vollständig zu formuliren. Ich bin nicht im Stande dasselbe hinsichtlich der Myopie zu thun. Die Auswahl der Gläser hängt ab von der Beantwortung der Frage, in welche Entfernung der Fernpunkt verlegt werden soll. Gerade für diese Frage ist aber die Antwort kaum im Allgemeinen zu geben. Wir wissen, dass zur vollständigen Correction der Myopie der Fernpunkt in unendliche Entfernung gebracht werden muss. Dies mag nun geschehen zuerst, wenn die Gläser ausschliesslich zum Sehen in die Ferne benutzt werden; eine Lorgnette die nur ab und zu, um in die Ferne zu sehen vor das Auge gehalten wird, mag die Myopie vollständig neutralisiren. Es darf dies ferner geschehen bei Brillen, welche anhaltend getragen und sogar zum Arbeiten in der Nähe benutzt werden, vorausgesetzt, dass die Myopie, in Betracht zur Accommodationsgrösse gering, und das Auge übrigens gesund ist. Namentlich bei jugendlichen Individuen gewöhnt das myopische Auge sich bald, es sei unmittelbar, oder allmählig an vollkommene Neutralisation, und da das mit einem Concavglas bewaffnete Auge durch eine bestimmte Veränderung der Krystalllinse eine grössere Accommodationsbreite umfasst, so fühlt es sich auch beim Arbeiten in der Nähe weniger angestrengt. — In allen andern Fällen mag die Myopie nur zum Theil corrigirt werden, und wenn Complication mit Amblyopie im Spiel ist, muss für das Arbeiten in der Nähe

dem Gebrauch schwacher Concavgläser oft ganz entsagt werden. Uebrigens kommen bei der Bestimmung der Entfernung, in welche R verlegt werden soll, eine Anzahl von Factoren in Betracht: der Grad der Myopie, die Grösse der Accommodationsbreite, der Gang der relativen Accommodationsbreite, der Zustand des Auges und seiner Muskeln, und endlich die Art der Beschäftigung und die Entfernung welche sie erfordert. Wir müssen uns auf eine Aufzählung dieser Factoren beschränken. Es ist hier nicht der Ort die Bedeutung und den Einfluss jedes einzelnen derselben zu entwickeln. Es bleibt nur eins übrig anzugeben, auf welche Weise nämlich, wenn die Indication festgestellt ist, in welche Entfernung R gebracht werden soll, bei Complication mit Astigmatismus das nöthige Glas durch Rechnung zu finden ist.

Bei der Bestimmung des Astigmatismus sind wir ausgegangen von der Untersuchung des Refractionszustandes in den beiden Hauptmeridianen. Daraus wurde dann die gemeinschaftliche Ametropie abgeleitet und der Grad des Astigmatismus als selbstständige Grösse hinzugefügt. So fanden wir die Formel für den zusammengesetzten sowohl hypermetropischen als myopischen Astigmatismus. Kehren wir nun zu den beiden Hauptmeridianen zurück, so ist die Methode die Gläser zu finden, welche, indem sie den Astigmatismus corrigiren, zugleich in allen Meridianen R den verlangten Werth, geben sehr einfach. R einen Werth geben von 40″, 20″, 12″ bezeichnet nichts anderes, als dem Auge eine Myopie mittheilen von, oder die bestehende Myopie reduciren auf $1/_{40}$, $1/_{20}$, $1/_{12}$. Wir haben also von der gefundenen Refraction in den beiden Hauptmeridianen den gewünschten Grad von Myopie nur zu subtrahiren, und geben wir dann die Gläser, welche die dabei übrigbleibende Ametropie in jedem der Meridiane vollständig corrigiren, so erhalten wir gerade den verlangten Grad von Myopie.

Zur Erklärung mögen folgende Beispiele dienen:

1. Es sei gefunden:

Im Hauptmeridian H, Emmetropie

„ „ V, $M = \frac{1}{6}$

und man will R auf 18″ verlegen, dann erhalten wir durch Subtraction:

$$\text{in H, Emmetropie} - M\frac{1}{18} = H\frac{1}{18}$$

$$\text{„ V,}\quad M\frac{1}{6} - M\frac{1}{18} = M\frac{1}{9}$$

zur Correction wird also ein bi-cylindrisches Glas erfordert von:

$$\frac{1}{18}\,c \ulcorner - \frac{1}{9}\,c.$$

2. Es sei im Hauptmeridian H, $M = \frac{1}{20}$

„ „ „ „ V, $M = \frac{1}{10}$

und man verlangt R auf 20″ zu bringen, so erhält man durch Subtraction von $M = \frac{1}{20}$

$$\text{in H,}\ M\frac{1}{20} - M\frac{1}{20} = \text{Emmetropie}$$

$$\text{in V,}\ M\frac{1}{10} - M\frac{1}{20} = M\frac{1}{20}$$

so dass der Zweck erreicht wird durch ein einfach cylindrisches Glas von $-\frac{1}{20}$ c.

3. In H sei $H = \frac{1}{6}$

in V sei $H = \frac{1}{18}$

man verlangt zum Lesen, Schreiben u. s. w. R auf 18″ zu bringen, so finden wir durch Subtraction:

$$\text{in H, } H\frac{1}{6} - M\frac{1}{18} = H\frac{1}{4^1/_2}$$

$$\text{in V, } H\frac{1}{18} - M\frac{1}{18} = H\frac{1}{9}$$

was corrigirt wird (vergl. pag. 75) durch:

$$\frac{1}{9}\text{ s} \bigcirc \frac{1}{9}\text{ c}$$

4. In einem Fall von Astigmatismus sei

$$\text{in V, } M = \frac{1}{12}$$

$$\text{in H, } H = \frac{1}{24}$$

und man verlangt R in 24″, so erhält man durch Subtraction

$$\text{in V, } M\frac{1}{12} - M\frac{1}{24} = M\frac{1}{24}$$

$$\text{in H, } H\frac{1}{24} - M\frac{1}{24} = H\frac{1}{12}$$

so dass man also den angegebenen Zweck erreicht durch ein bi-cylindrisches Glas von:

$$\frac{1}{12}\text{ c} \sqsubset - \frac{1}{24}\text{ c.}$$

Man kann den hier beschriebenen einigermaassen complicirten Weg in allen Fällen einschlagen, aber nicht immer ist dies nöthig. Besteht nämlich bei zusammengesetztem myopischen Astigmatismus eine hochgradige Myopie, welche man nur zum Theil zu neutralisiren wünscht, so braucht man nur die Myopie auf den gewünschten Grad zu reduciren; wünscht man z. B. bei M $^1/_6$ + Am $^1/_{12}$, M $^1/_{18}$ übrig zu behalten, so wird man dies erreichen, wenn man M $^1/_{18}$ subtrahirt, und daher nur M $^1/_9$ + Am $^1/_{12}$ durch - $^1/_9$ s $\bigcirc$ - $^1/_{12}$ c corrigirt. Ebenso braucht man bei zusammengesetztem hypermetropischen Astigmatismus zu der zu corri-

girenden Hypermetropie nur den gewünschten Werth von R zu addiren. So wird bei

$$H\frac{1}{18} + Ah\frac{1}{9}$$

R auf 18″ gebracht werden durch:

$$\frac{1}{9}\,s \supset \frac{1}{9}\,c.$$

Bei allen diesen Berechnungen haben wir, die aus der Entfernung zwischen Glas und Knotenpunkt sich ergebende Correction, der Einfachheit wegen bei Seite gelassen: es ist ja auch, wenn es sich nicht um besonders starke Gläser handelt, diese Differenz so klein, dass sie sich in praxi kaum bemerklich macht.

Beim Gebrauch cylindrischer Gläser ist es vom grössten Gewicht, dass die Achsen der Krümmungsflächen in den Hauptmeridianen des dioptrischen Apparates des Auges liegen. Eine geringe Abweichung giebt, besonders bei Anwendung starker Gläser eine bereits sehr merkbare Störung. Am besten nun erreicht man diesen Zweck, wenn man rund geschliffene Gläser in ein Brillengestell mit runden Ringen setzen lässt, wobei dann durch Herumdrehen der Gläser die Achse der cylindrischen Fläche leicht in die gewünschte Richtung gebracht werden kann. Durch kleine Bewegungen des ganzen Gestelles erfährt man bald, in welcher Richtung man das Glas noch drehen muss, und der Beweis, dass es genau die verlangte Stellung eingenommen hat, liegt darin, dass bei geringer Lagenveränderung des Gestelles nach der einen oder andern Seite hin, die Correction weniger vollkommen, das Sehvermögen weniger scharf ausfällt. Hat man einmal die richtige Stellung für runde Gläser gefunden, so kann man dieselben unter Beibehaltung der Achsenrichtung auf Verlangen oval schleifen und in ein anderes Gestell fassen lassen. Dass es bei Anwendung cylindrischer Gläser ein Haupterforderniss ist für ein gut sitzendes,

wenig bewegliches Gestell zu sorgen, ist in dem oben Gesagten bereits enthalten.

Die Correction des Astigmatismus durch cylindrische Gläser kann keine absolute Vollkommenheit erreichen. Abgesehen von der Amblyopie, welche, unabhängig vom lichtbrechendem Apparat, viele Fälle von Astigmatismus complicirt, muss die Sehschäfe bei der genauesten Correction schon desshalb zu wünschen übrig lassen, weil die Asymmetrie des astigmatischen Auges dem Effekte einer cylindrischen Linse nicht ganz und gar gleichwerthig ist. Ohnehin ist die Correction nur der Art, dass die hinteren Brennpunkte der verschiedenen Meridiane zusammenfallen, ohne dass dies auch für die übrigen Cardinalpunkte der Fall wäre. Ein Zusammenfallen der Knotenpunkte in den verschiedenen Meridianen ist gewiss kaum zu erreichen. Liegen sie in den Hauptmeridianen der schwächsten Krümmung zu weit nach hinten, so bringt sie die Correction durch eine bi-convexe cylindrische Linse zu weit nach vorn, vor die, der am stärksten gekrümmten Meridiane, und umgekehrt werden sie, wenn sie zu weit nach vorn liegen, bei der Correction durch eine bi-concave cylindrische Linse zu weit nach hinten gebracht. Dies ist der Grund, warum bei der Correction des Astigmatismus die Objecte verlängert erscheinen in einer Richtung, welche derjenigen, in welcher diese Verlängerung vorher stattfand, entgegengesetzt ist. Diese zu grosse Verschiebung der Knotenpunkte fällt um so geringer aus, je näher an der Hornhaut die cylindrischen Gläser sich befinden, und schon desshalb ist es wünschenswerth, bei der Anwendung sphärisch-cylindrischer Gläser diejenige Seite dem Auge zuzuwenden, wobei der Knotenpunkt der cylindrischen Fläche dem Auge am nächsten liegt. Sind beide convex oder concav, so kehre man die am schwächsten gekrümmte, ist die eine convex, die andre concav, die concave nach vorn. — Die Formveränderung durch cylindrische Gläser ist auch wohl die Ursache, warum man bei der Untersuchung, wie stark die anzuwendenden Gläser sein müssen, mit weniger gutem Erfolg als bei sphärischen Gläsern sich darnach richten kann, in welcher Weise sich die Sehschärfe verändert bei Veränderung der Ent-

fernung des Glases vom Auge; fast immer wird das Glas, sowohl das convexe, sei es auch zu schwach, als das concave, sei es auch zu stark, dicht am Auge verlangt. Man sieht übrigens leicht ein, dass besonders beim Gebrauch von cylindrischen Gläsern die Entfernung zwischen Auge und Glas gering sein muss; denn es werden ja, in dem Maasse als diese Entfernung wächst, die Bilder in der einen Richtung immer kleiner und kleiner, in der andern immer grösser, und unter diesem doppeltem Einfluss muss die Formveränderung sich stark bemerkbar machen. Es ist ferner noch zu bemerken, dass bei einigen Bewegungen des Auges, welche mit einer Drehung um die Sehachse verbunden sind, die Richtung der Achsen der cylindrischen Flächen nicht mehr vollkommen mit den Hauptmeridianen zusammenfallen und die Correction daher ungenügend wird; hieraus folgt denn, dass beim Gebrauch von cylindrischen Gläsern das Auge, um nicht an Sehschärfe zu verlieren, seine Bewegungen einigermassen beschränken muss. Indessen verursacht jedes Brillenglas schon als solches eine gewisse Beschränkung, welche aber, wie die Erfahrung lehrt, in diesem Falle keine besonderen Beschwerden macht.[1])

Endlich, um nichts zu verschweigen, erwähnen wir noch, dass die Accommodationsveränderungen im astigmatischen Auge, besonders nach Correction der Asymmetrie, in den beiden Hauptmeridianen keine ganz übereinstimmenden Accommodations-Breiten repräsentiren, so dass die Correction nicht für alle Accommodations-Zustände gleich vollkommen sein kann. Diese Differenz ist indessen so gering, dass sie in praxi keine Unannehmlichkeiten verursacht.

---

1) Sieht man bei Verschluss des einen Auges und Bewaffnung des andern mit einem cylindrischen Glase, seitwärts über oder unter der durch beide Sehlinien gelegten Ebene nach einem Lichtpunkt, so bemerkt man, dass die Richtung, in welcher der Lichtpunkt verlängert erscheint, sich einigermassen verändert. Dies hängt ab von einer Drehung des Auges um die Sehachse. Vielleicht ist hieraus eine Methode zur Bestimmung der Grösse dieser Drehung bei verschiedenen Bewegungen des Auges abzuleiten.

Wie bereits früher erwähnt, war Airy der erste, welcher den abnormen Astigmatismus entdeckte, und zwar an seinem linken Auge; er erkannte sogleich, dass ein cylindrisches Glas die Asymmetrie corrigiren könne, und fand denn auch durch ein solches Glas die Sehstörung verbessert. Der Form nach gehörte sein Astigmatismus zum zusammengesetzt myopischen. Airy sah ein, dass der Zweck zu erreichen sein würde durch concav-cylindrische Gläser mit rechtwinklich zu einander liegenden Achsen, von denen jedes der in den Hauptmeridianen zu corrigirenden Myopie entspräche. Aber mit Recht gab er einem negativ sphärisch-cylindrischem Glas den Vorzug, dessen concav-sphärische Fläche die gemeinschaftliche Myopie der Hauptmeridiane, das concav-cylindrische den noch übrig bleibenden einfachen Astigmatismus corrigirte. Und wirklich braucht man niemals bi-cylindrische Gläser (mit gekreuzten Achsen), deren beide Flächen convex oder concav wären: allemal können sie durch sphärisch-cylindrische auf vortheilhafte Weise ersetzt werden. Die in der Schweiz gebräuchlichen und bei den Uhrmachern allgemein verbreiteten bi-cylindrischen Lupen, deren gewölbte Flächen mit gekreuzten Achsen gleiche Krümmung besitzen, kommen in ihrer Wirkung nahezu überein mit bi-convexen sphärischen Gläsern. Die Uhrmacher behaupten, dass dieselben ein grösseres Gesichtsfeld hätten, in Wahrheit ist das Gesichtsfeld grösser in Richtung der Achse der dem Auge zugekehrten Fläche, kleiner dagegen in der entgegengesetzten Richtung, so dass die Form desselben ein Oval ist, welches beim Drehen der Lupe der Bewegung folgt. Diese Lupen können mit periscopischen sphärischen Gläsern um so weniger wetteifern, als dabei die Formen der seitwärts gesehenen Objecte sich in eigenthümlicher Weise verzogen darstellen.

Dass der Astigmatismus sich durch convexe und concave Gläser einigermassen corrigiren lässt, wenn sie so vor das Auge gehalten werden, dass ihre Achsen einen gewissen Winkel mit der Sehlinie bilden, war bereits Young[1]) und Cary bekannt.

---

[1]) Siehe das Citat pag. 18.

Es scheint, dass auch andere, besonders bei starken Graden von Myopie, davon Gebrauch gemacht haben. So lesen wir bei White Cooper[1]), dass manchmal Fälle vorkommen, wo in Folge einer Eigenthümlichkeit der Form der brechenden Medien oder der Sensibilität der Netzhaut (?) die durch Gläser zu erreichende Verbesserung erheblich zunimmt, „by sloping them or holding them obliquely," und dass er einen auffallenden Fall der Art bei einem Myopen gesehen habe. Er fügt noch hinzu, dass Carpenter und Westley, um dem Glase die gewünschte Stellung zu geben, es in einen im Brillengestell drehbaren Ring fassten. Dies Mittel, den Astigmatismus zu corrigiren, kann aber nur dann Anwendung finden, wenn beträchtlich starke sphärische Gläser zur Correction der Ametropie nothwendig sind, und auch dann wird durch cylindrische Krümmung der einen der Flächen eine vollkommnere Correction zu erreichen sein. Meiner Ansicht nach kann man nur bei Aphakie zur Correction eines gewissen Grades von Astigmatismus mit Vortheil von einer schiefen Stellung der Gläser Gebrauch machen. Beinahe allemal zeigt es sich, dass, wenn man dem starkem Convexglas eine gewisse Neigung giebt, die Sehschärfe sich verbessert, und in jedem Fall von Aphakie muss man bekanntlich darauf aufmerksam sein.

Wir wollen endlich nicht unterlassen, zu bemerken, dass der Astigmatismus auch auf operativem Wege corrigirt werden könnte. Die Iriddesis, eine hauptsächlich durch Critchett in Gang gebrachte Operation, würde dazu anwendbar sein, und besonders die doppelte Iriddesis, wie sie von Bowman und anderen bei Keratoconus vollzogen wird. Die Pupille wird hierbei nämlich in eine schmale Spalte verwandelt, und entspricht die Richtung der Spalte einem der beiden Hauptmeridiane, so wird sicher die von der Asymmetrie abhängige Aberration hinreichend ausgeschlossen sein. Den Nutzen dieser doppelten Iriddesis bei Keratoconus kann ich nicht einsehen, hier ist ja nicht die Differenz der Krümmung in verschiedenen Meridianen, sondern die konische Krümmung in allen Meridianen die Ursache der Seh-

---

1) On near Sight etc. London 1853, p. 199.

störung. Dagegen würde dieselbe bei Krümmungsdifferenz verschiedener Meridiane, das heisst bei regelmässigem Astigmatismus, die Sehschärfe gewiss erhöhen. Da wir jedoch durch cylindrische Gläser die gewünschte Correction erreichen können, so bin ich, in Hinblick auf das mehr oder weniger Gefährliche der Operation und nicht minder wegen der dadurch gesetzten Entstellung weit davon entfernt, dieselbe etwa empfehlen zu wollen.

VIII.

Nosologie und Klinik des Astigmatismus.

Der Astigmatismus ist entweder angeboren oder erworben. In bei Weitem den meisten Fällen ist der Astigmatismus angeboren. Ist er erworben, so ist er klinisch als eine andere Krankheitsform aufzufassen, welche für sich abzuhandeln ist. Zuerst beschäftigt uns

I. Der angeborene Astigmatismus. Diese Anomalie kommt mannigfach vor. In der kurzen Zeit von acht Monaten, seitdem meine Aufmerksamkeit darauf gerichtet war und jeder zweifelhafte Fall gehörig darauf untersucht wurde, habe ich mehr als vierzig Fälle beobachtet. Eine genügendende Statistik fehlt mir noch, aber gewiss ist es keine Uebertreibung, wenn ich behaupte, dass auf 40 bis 50 Augen eines durch Astigmatismus in seiner Function beeinträchtigt ist.

Eine Grenze zwischen normalem und abnormem Astigmatismus besteht nicht. Wenn er eine Höhe von $^1/_{40}$ erreicht, habe ich ihn abnorm genannt, da die Sehstörung dann von der Art ist, dass cylindrische Gläser zu ihrer Beseitigung nothwendig sind. Uebrigens aber ist es klar, dass die angegebene Grenze ganz willkürlich ist. Bei viel geringeren Graden ist die Sehschärfe nicht mehr vollkommen. So war ich früher der Ansicht, dass ein Astigmatismus von ungefähr $^1/_{100}$, wie er bei meinen beiden Augen vorhanden

ist, unter keinen Umständen der Deutlichkeit des Bildes Abbruch thäte und daher auch keine Correction zuliesse, und doch habe ich mich überzeugt, dass $^1/_{80}$ c (das schwächste Glas, welches ich besitze) bei senkrechtem Stand der Achse vor meinem Auge die Schärfe des Bildes ganz unverkennbar erhöht, während umgekehrt bei horizontalem Stand der Achse dieselben Gläser eine beträchtliche Störung verursachen. Durch Zuhülfenahme von $^1/_{40}$ c mit verticaler Achse wird dann wieder eine deutliche Verbesserung zu Wege gebracht.

Die 40 erwähnten Fälle hatten einen Astigmatismus von $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{4\frac{1}{2}}$. Bei den meisten betrug er mehr als $^1/_{16}$, bei sehr vielen mehr als $^1/_{10}$.

Astigmatismus ist manchmal erblich. Nicht selten leidet einer der Eltern an demselben Gebrechen. Häufiger noch kommt es vor, dass mehrere Kinder derselben Eltern diese Anomalie zeigen und zwar meistens in übereinstimmender Form; wir sind dann ebenso sehr berechtigt, den Zustand erblich zu nennen, als wenn er bei einem der Eltern vorkommt.

In der Mehrzahl der Fälle sind beide Augen befallen. Manchmal jedoch ist das eine ganz oder fast ganz verschont geblieben. Herr R. hat auf beiden Augen Ah zwischen $^1/_6$ und $^1/_7$; bei seinem Bruder bestand Ah $= \frac{1}{9,5}$ in ganz übereinstimmender Form nur auf dem einen Auge; sein linkes Auge war fast vollständig frei von Astigmatismus. Merkwürdig ist es, dass bei einer solchen Verschiedenheit zwischen beiden Augen gewöhnlich die obere Hälfte des Gesichtes gleichfalls asymmetrisch ist. Auch wenn ein hoher Grad von Ametropie nur an einem Auge vorkommt, ist Asymmetrie der die Augenhöhle begrenzenden Knochen eine sehr gewöhnliche Erscheinung. Diese hängt zusammen mit den

Eigenthümlichkeiten der Gesichtsbildung bei Myopen und besonders bei Hypermetropen — ein wichtiger Gegenstand, welcher mich bereits seit geraumer Zeit beschäftigt, worauf ich jedoch hier nicht näher eingehen will.

Bisher sind mir viel mehr Fälle von abnormem Astigmatismus bei Männern als bei Frauen vorgekommen. Ich halte mich indess nicht zu der Annahme berechtigt, dass hier kein Zufall im Spiele sei. Die Zukunft muss hierüber entscheiden.

Was das Lebensalter anlangt, so ist es klar, dass dasselbe keinen Einfluss ausüben kann. So lange das Accommodationsvermögen lebhaft wirksam ist, ist die Sehstörung durch einen mässigen Grad von Astigmatismus weniger hinderlich. Desshalb melden sich leichte Fälle gewöhnlich erst dann, wenn die Accommodationsbreite (gegen das dreissigste Jahr) bereits merklich verringert ist, während bei hohen Graden von Astigmatismus die Sehstörung schon frühzeitig bemerkt, und nicht selten schon vor dem siebenten Jahr augenärztliche Hülfe gesucht wird. Umgekehrt wird im höherem Alter in Folge des Kleinerwerdens der Pupille ein gewisser Grad von Astigmatismus weniger störend. Bei alledem behält der Astigmatismus gewiss ungefähr seinen ursprünglichen Grad.

Die mit dieser Anomalie verbundene Sehstörung ist ganz eigenthümlich. Sie ist weder mit der gleich zu stellen, welche von Veränderungen der Netzhaut (Amblyopie) oder von Verdunkelungen der durchsichtigen Medien, noch selbst mit der, welche von Ametropie abhängt. Bei den gewöhnlichen Formen von Amblyopie ist die Projection im Gesichtsfeld unsicher und wird nicht genau angegeben; Verdunkelungen veranlassen durch das über die Netzhaut ausgegossene diffuse Licht einen Nebel vor den Augen, welcher in den Gegenständen die Unterschiede von Hell und Dunkel verschleiert; bei einem Brechungszustand, welcher der Ent-

fernung in welcher sich die Gegenstände befinden nicht entspricht, wird jeder Punkt durch einen Zerstreuungskreis wiedergegeben und durch das gegenseitige Uebereinandergreifen dieser zahllosen Kreise werden die Umrisse der Gegenstände verwischt. Bei Astigmatismus dagegen ist, im Gegensatz zu Amblyopie, zuerst die Projection im Gesichtsfeld vollkommen scharf und wird mit Genauigkeit angegeben: so wird der Astigmaticus bis in die kleinsten Einzelheiten beschreiben, unter welchen theils schwarzen theils grauen Linien eine Figur, z. B. der zusammengesetzte lateinische Buchstabe **W** erscheint. Aber das Netzhautbild selbst, obgleich durch die Projection gleichsam unverändert vor Augen gestellt, weicht in Bezug auf Form und Lichtvertheilung so viel ab von dem Objecte, dass es nicht im Stande ist dies daraus zu erkennen, am allerwenigsten wenn die Bilder verschiedener benachbarter Objecte einander bedecken und die sie zusammensetzenden Linien in allerlei Richtungen und mit verschiedenen Graden von Deutlichkeit sich überkreuzen. Offenbar spielt auch der unregelmässige Astigmatismus hierbei eine grosse Rolle; er veranlasst in den Meridianen, in welchen die Refraction am meisten von dem verlangten Accommodationszustand abweicht, Doppelbilder, welche die Verwirrung noch ungemein vergrössern. Sehr begreiflicher Weise hat das Bestreben, aus den wechselnden Bildern, welche durch Veränderung der Accommodation zum Vorschein treten, durch Suchen und Combiniren die Form der Objecte zu errathen, bald eine psychische Ermüdung zur Folge, mit welcher sich unter Umständen auf Grund übermässiger Accommodations-Anspannung Erscheinungen von Asthenopie verbinden. Kein Wunder also, dass Astigmatiker sich über die Correction ihrer Anomalie so ausnehmend freuen und dies noch lebendiger an den Tag legen als blosse Ametropen.

Es wurde oben bereits erwähnt, dass der regelmässige

angeborene Astigmatismus in der Regel seinen Grund in einer Asymmetrie der Cornea hat, während die Fälle in welchen die Linse die Hauptrolle spielt, zu den seltensten Ausnahmen gehören.

A. Bei dem angeborenen regelmässigen Astigmatismus der Cornea haben wir nun hinsichtlich der Refraction in den beiden Hauptmeridianen drei Formen zu unterscheiden (vergl. pag. 49), den myopischen, den hypermetropischen und den gemischten. Jede derselben hat ihre Eigenthümlichkeiten, die am besten ans Licht treten werden, wenn wir nach einer kurzen Einleitung einen oder mehrere Fälle von jeder Form beschreiben.

1. Myopischer Astigmatismus. Hiervon haben wir zwei Formen kennen gelernt, a. den einfach myopischen Astigmatismus Am, wenn Emmetropie in dem einem Hauptmeridian sich combinirt mit Myopie in dem andern; b. den zusammengesetzt myopischen Astigmatismus M + Am, wenn in beiden Hauptmeridianen Myopie und zwar in verschiedenen Graden anwesend ist. Zur letzteren Form gehört z. B. der Fall von Airy.

Anfangs vermuthete ich, dass myopischer Astigmatismus nur ausnahmsweise vorkomme. Die ersten Fälle welche ich sah, gehörten sämmtlich zur hypermetropischen Form, einzelne zur gemischten. Später änderte sich das Verhältniss und jetzt glaube ich behaupten zu dürfen, dass unter ungefähr sechs Fällen von Astigmatismus einer zur myopischen Form gehört. In der Regel jedoch ist es nur

a. Einfach myopischer Astigmatismus. Vollkommene Emmetropie in einem der Hauptmeridiane ist eine Bedingung, welche man nicht leicht verwirklicht findet. Streng genommen kommen daher kaum Fälle vor von einfach myopischem Astigmatismus.

Soll man aber bei der geringsten Spur von Myopie im zweiten Hauptmeridian, die Anomalie als zusammengesetzt

myopisch, bei der geringsten Spur von Hypermetropie als zusammengesetzt hypermetropisch auffassen? Das würde glaube ich, unpractisch sein. Dem Begriff des einfachen Astigmatismus muss eine gewisse Weite gelassen werden. M = $^1/_{80}$ bedarf im Allgemeinen keine Correction, und bei jugendlichen Individuen H = $^1/_{80}$ ebensowenig; ein einfach cylindrisches Glas bleibt dann im Allgemeinen genügend. Doch ist es klar, dass wenn die Correction durch ein einfach cylindrisches Glas ein wenig H oder M übrig liess, beim Abnehmen der Accommodation respective früher oder später als gewöhnlich, die Combination mit einer sphärischen Fläche des Glases zum Sehen in der Nähe nöthig werden wird.

Fall 1. Einfach myopischer Astigmatismus. Herr O. Student der Theologie, damals 21 Jahr alt, consultirte mich vor 3 Jahren. Ich diagnosticirte Myopie ungefähr = $^1/_{16}$, complicirt mit Amblyopie. Der Grad der Myopie war indessen, wegen der Herabsetzung der Sehschärfe, nicht scharf zu bestimmen. Diese nämlich betrug kaum $^1/_3$, sodass der Kranke einen gewöhnlichen Druck nur in geringer Entfernung erkennen konnte, wobei ihm die vorhandene Myopie sehr zu Statten kam.

Er hatte grosse hervortretende Augen, klare brechende Medien, und eine Spur von Atrophie der Membranen nach aussen von der Sehnervenfläche — welche übrigens röther als normal war, ohne jedoch gerötheter zu sein als sie es bei jugendlichen Myopen, welche viel lesen und schreiben, zu sein pflegt. Er meinte zwar, dass sein Sehvermögen in letzter Zeit abgenommen habe, doch hatte er niemals gut gesehen und sich besonders des Abends nicht lange hintereinander mit Arbeiten in der Nähe beschäftigen können.

Bei Myopen ist eine derartige Sehstörung sehr gewöhnlich. Sie hat sich dann aber durchgehends zu einer bestimmten Zeit entwickelt, und zwar in Folge von fortgesetztem Arbeiten mit übergebeugter Kopfhaltung, während früher das Sehvermögen in jeder Beziehung vollkommen war. Ich zweifelte also, ob in diesem Fall der Grund der Amblyopie darin zu suchen sein

dürfte und vergeblich wurden denn auch ableitende Mittel, Heurteloup'sche Blutigel, kalte Douche auf die Augen etc. angewendet. Keine Besserung sehend stellte Patient seine Besuche ein.

Vor einigen Wochen meldete er sich von Neuem. Sein Sehvermögen erklärte er, liesse soviel zu wünschen übrig, dass er fürchte seine Studien nicht fortsetzen zu können. Er wünschte, ehe er darüber zu einem Entschluss käme, mich noch einmal zu consultiren. Das Krankenjournal ward nachgeschlagen und ich vermuthete sogleich, dass früher von mir übersehener Astigmatismus hier im Spiele sein würde.

Bei günstiger Beleuchtung sah er mit beiden Augen und mit jedem für sich No. 1 auf $2^1/_2''$ bis $3''$. In grosser Entfernung war die Sehschärfe des rechten Auges $= {}^1/_4$, die des linken $= {}^1/_5$. Negative Gläser verbesserten, aber relativ wenig, doch wurde einem starken Glas und zwar von $-{}^1/_{10}$ der Vorzug gegeben, womit die Sehschärfe bis auf $^2/_7$ stieg. Das Vorhandensein von Astigmatismus war hiermit bereits wahrscheinlich geworden.

Wir gingen daher zur Untersuchung mit dem Lichtpunkt über (vergl. pag 47). Das rechte Auge sah den Lichtpunkt als eine ungefähr 30^0 nach Aussen geneigte Linie / und mit zu Hülfenahme $^1/_{50}$ erschien diese Linie noch länger und schmaler, mit $^1/_{30}$ und mit $^1/_{20}$ dagegen zugleich breiter und mit Nebenlinien complicirt. Mit $-{}^1/_{40}$ bis $-{}^1/_{13}$ war das Bild beinahe rund, mit $-{}^1/_8$ rechtwinklig zur ursprünglichen Richtung verlängert. Es war indessen sehr veränderlich, so dass das Glas, mit welchem das schmalste liegende Bild zu erreichen war, sich schwer bestimmen liess, um so schwieriger, weil dies Bild keine scharfe Linie, sondern eine in liegender Richtung ausgedehnte sehr zusammengesetzte Figur war. Nun wurde das Auge mit $^1/_{40}$ bewaffnet und abwechselnd ein negatives Glas vor das positive gehalten, wobei denn die entgegengesetzten Richtungen ein Kreuz bildeten, dessen Linien dann am schmalsten waren, wenn das negative Glas $-\frac{1}{6\frac{1}{2}}$ war.

Hiermit war die Richtung der beiden Hauptmeridiane bekannt. Durch eine in Richtung des liegenden Hauptmeridians gehaltene Spalte von $1^3/_4$ mm. Breite stieg die Sehschärfe bis auf $^1/_3$; vor die Spalte gehaltene positive oder negative Gläser brachten keine Verbesserung zu Wege. Dieselbe Spalte, vor den stehenden Hauptmeridian gehalten, gab keine wesentlichen Vortheile, bei Zuhülfenahme von - $^1/_{10}$ stieg die Sehschärfe auf $^1/_3$. Was das Lesen in der Nähe anlangt, so verbesserte sich dieses wenig beim Sehen durch eine liegende Spalte, ansehnlich dagegen beim Sehen durch eine stehende.

Ein Glas von $^1/_{16}$ c, die Achse der Krümmungsfläche in Richtung des stehenden Hauptmeridians gehalten, liess Nr. I. beinahe in doppelter Entfernung, $^1/_{11}$ c und $^1/_8$ c auf mehr als doppelte Entfernung mit Leichtigkeit lesen; wenn dagegen die Achse der cylindrischen Flächen mit dem liegenden Hauptmeridian zusammenfiel, konnte selbst Nr. IX. nicht mehr entziffert werden. Für die Ferne wurde - $^1/_{10}$ c, die Achse mit dem liegenden Hauptmeridian zusammenfallend, vortrefflich gefunden; die Sehschärfe stieg dabei unter günstigen Umständen auf nahezu $^3/_4$. Der Patient hatte bis dahin nie eine Vorstellung davon gehabt, was scharf sehen heisst und fühlte sich ausnehmend glücklich.

Schwarze, 30° nach aussen geneigte Linien wurden auf Entfernung ohne Gläser recht scharf gesehen, während senkrecht darauf gerichtete Linien kaum noch als Linien erkannt wurden. Wurde ein Glas von - $^1/_{10}$ vor das Auge gehalten, so erschienen letztere am schärfsten und konnten die ersteren nur durch Accommodations-Anspannung genügend erkannt werden.

Es fehlte an Zeit, um die Krümmungsradien der Hornhaut zu messen. Dass in dieser Membran Asymmetrie bestand, konnte indessen schon aus der Form des Spiegelbildes eines um 30° geneigten Quadrates geschlossen werden.

Die nach aussen von der Sehnervenfläche sichtbare Atrophie der Membranen hat seit der ersten Untersuchung zugenommen. Die in Richtung des stehenden Hauptmeridians verlaufenden Netzhautgefässe werden im aufrechten Bilde von einem emmetropischem Auge scharf erkannt; um die in Richtung des liegenden

Meridians verlaufenden im aufrechtem Bild zu sehen, wird ein negatives Glas von etwa - $^1/_{10}$ erfordert. Im umgekehrtem Bild war diese Differenz in Bezug auf die in verschiedener Richtung verlaufenden Blutgefässe schwer zu constatiren.

Das linke Auge zeigt eine merkwürdige Uebereinstimmung mit dem rechten. Auch hier besteht Am ungefähr = $^1/_{10}$ und war der Hauptmeridian ungefähr um 30° nach Aussen geneigt ╲. Eine nähere Beschreibung scheint daher überflüssig.

Epicrisis. Der hier beschriebene Fall ist einer von den Tausenden, wo Astigmatismus für Amblyopie gehalten und als solche behandelt wurde. War die zwecklose und eingreifende Behandlung lediglich quälend für den Kranken, so war seine Freude, durch passende Gläser sein Sehvermögen für alle Entfernungen verbessert zu finden, unbeschreiblich gross. Er war gewohnt, auch grosse Schrift stets sehr nahe an das Auge zu halten, einestheils um durch Vergrösserung des Sehwinkels seiner verminderten Sehschärfe zu Hülfe zu kommen, anderntheils um durch die mit der Convergenz und der Accommodationsspannung associirte Verengerung der Pupille, die Zerstreuungskreise zu verkleinern. Von dieser, zum besseren Sehen nothwendigen übermässigen Accommodationsanspannung hängen die Erscheinungen von Asthenopie ab, welche man bei Astigmatikern wahrzunehmen pflegt. Vielleicht ist die nach der Correction des Astigmatismus noch übrig bleibende Amblyopie gleichfalls eine Folge der übermässigen Accommodationsspannung, welche mit der für das Auge so nachtheiligen stark übergebeugten Kopfhaltung Hand in Hand ging. — Man wird bemerkt haben, dass der Kranke mit recht starken negativen sphärischen Gläsern besser in die Ferne sah: auch dies scheint dem Umstand zuzuschreiben, dass die beim Gebrauch dieser Gläser nothwendige Accommodationsanspannung zu Verengerung der Pupille und daher zur Verkleinerung der Zerstreuungsbilder Veranlassung gab.

Wir haben dem Kranken vorläufig nur Gläser von - $^1/_{10}$ c verordnet, womit er auch in der Nähe vollständig gut sah. Seine Accommodationsbreite betrug nahezu $^1/_4$, und da er gewohnt war, sein Accommodations-Vermögen stark anzuspannen, so kann es

nicht befremden, dass er anfänglich zum Lesen und Schreiben keine andere Brille verlangte. Es ist indessen vorherzusehen, dass die übermässige Accommodationsanspannung bald beseitigt sein wird, und wird fortgesetztes Arbeiten dann einigermassen beschwerlich, so beabsichtige ich, ihm bi-cylindrische Gläser von

$$\frac{1}{36}\,\mathrm{e} \ulcorner - \frac{1}{14}\,\mathrm{c}.$$

zu verordnen, wodurch der Astigmatismus corrigirt und in allen Meridianen eine geringe Myopie zu Stande gebraeht wird. Sollte die Sehschärfe vollkommen werden, was, da übermässige Accommodationsanspannung und gebeugte Kopfhaltung jetzt nicht mehr nöthig sind, wohl einigermaassen in Aussicht steht, so wird er letztere Gläser erst in einem späteren Lebensalter bedürfen.

b. Zusammengesetzt myopischer Astigmatismus. M + Am. Von zusammengesetzt myopischem Astigmatismus habe ich nur vier Fälle gesehen. Sie treten auf unter der Form von Myopie mit Amblyopie, und sind nach der Methode von Airy leicht zu erkennen. Dies erklärt uns, warum diese Form trotz ihrer Seltenheit zuerst entdeckt wurde. Diese Augen sehen verhältnissmässig viel besser in der Nähe als in die Ferne; und durch sphärische negative Gläser, welche die Myopie in dem Hauptmeridian der stärksten Krümmung corrigiren, wird, besonders bei jugendlichen Personen, die Sehschärfe für die Ferne verbessert. Vollkommene Sehschärfe wird jedoch erst durch sphärisch cylindrische Gläser erreicht, während zum Sehen für die Nähe, wenn, wie in dreien der von mir beobachteten Fälle im Hauptmeridian der schwächsten Krümmung die Myopie gering ist, einfach negativ cylindrische Gläser in der Regel am besten entsprechen.

Fall II. Zusammengesctzt myopischer Astigmatismus. Während des Druckes kommt mir ein Fall vor, der merkwürdig genug ist, um ihn hier einzuschalten. Frau F., von Jugend auf kurzsichtig und auf beiden Augen nicht vollkommen scharfsichtig, klagte seit Jahren über dann und wann wieder-

kehrendes Flimmern vor dem rechten Auge, gefolgt von einer schnell vorübergehenden Sehstörung. Vor ungefähr $^1/_2$ Jahre trat dieses Flimmern von Neuem auf, aber nun war die Sehstörung bleibend. Anfänglich bestand ein den gelben Fleck einnehmendes ziemlich grosses Scotom mit gleichzeitiger Herabsetzung des excentrischen Sehens in der obern Hälfte des Gesichtsfeldes. Nach mannigfachen kleinen Aenderungen in der Form, während der ersten Wochen nach dem Entstehen, ist denn endlich ein kleines umschriebenes, zum Theil absolut zum Theil relativ unempfindliches, scharf begrenzt zu projicirendes, fast unmittelbar über dem Fixirpunkt gelegenes Scotom übrig geblieben; auch ist in den oberen Theilen des Gesichtsfeldes ein geringer Grad von Torpor vorhanden. Das Auge liest, indessen nicht ohne Mühe, während die über der gelesenen befindliche Zeile grösstentheils unsichtbar ist.

Die ophthalmoskopische Untersuchung ist negativ. An der dem Scotom entsprechenden, unten an den gelben Fleck angrenzenden Netzhautstelle ist bestimmt nichts abweichendes zu sehen, und ob das glatte, glänzende Ansehen eines Theiles der Sehnervenfläche als Atrophie anfzufassen ist, ist mindestens sehr zweifelhaft.

Das linke Auge giebt ungefähr M $^1/_{11}$ an, hat aber dabei eine Sehschärfe von nicht mehr als $^1/_3$. Eine ophthalmoskopische Veränderungzeigt sich nicht. Astigmatismus vermuthend, drehte ich, während das Auge mit - $^1/_9$ bewaffnet war, $^1/_{24}$ c vor dem Auge rund herum, wobei bei horizontalem Stand der Achse die Sehschärfe unmittelbar auf $^2/_3$ stieg, um bei lothrechtem Stand auf $^1/_{10}$ zu fallen. Die Prüfung mit einem Lichtpunkt ergab bei Zuhülfenahme eines schwachen positiven Glases eine Ausdehnung in die Breite; durch ein negatives Glas von - $^1/_7$ oder mehr kaum einige Ausdehnung in die Länge. Es bestand viel unregelmässiger Astigmatismus.

Mit Hülfe einer stenopäischen Spalte ward gefunden

$$\text{in V, } M = \frac{1}{14{,}5}$$

$$\text{in H, } M = \frac{1}{9}$$

was einem Astigmatismus von $\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{14{,}5}\right)$ ungefähr $^1/_{24}$ entspricht.

In der Ferne werden horizontale Streifen besser gesehen als verticale; mit - $^1/_{24}$ werden die horizontalen vollkommen scharf und zugleich die verticalen deutlicher, um jedoch erst mit - $^1/_9$ ihre volle Deutlichkeit zu erreichen.

Ohne Gläser wird Nr. 1 in einer Entfernung von beinahe 5″ erkannt. Mit $^1/_{24}$ c bei horizontal gerichteter Achse, wobei in allen Meridianen M = $^1/_9$, wird Nr. 1 in 8″ gelesen; die Hebung der Sehschärfe macht sich sehr bemerklich; Patientin unterscheidet ausdrücklich das einfache Erkennen von dem Scharfsehen der Formen. Das rechte Auge scheint an derselben Form und demselben Grad von As zu leiden. — Für beide Augen ward verordnet:

- $^1/_{15}$ s $\supset$ - $^1/_{24}$ c, als Lorgnette für das Sehen in die Ferne, wobei R = ∞

$^1/_{24}$ c, wobei R in 9″ zu liegen kommt, — sehr geeignet zum scharfen Sehen feiner Objecte

- $^1/_{20}$ s $\supset$ - $^1/_{24}$ c, wobei R in 4$^1/_2$ Fuss liegt; dieses Glas, um beim Malen benutzt oder je nach Bedürfniss als Brille getragen zu werden.

Ich werde ferner ein Glas schleifen lassen, dessen cylindrische Fläche - $^1/_{24}$ ist, während die sphärische zwei Brennweiten hat (verres à double foyer) nämlich im oberem Theil - $^1/_{20}$, im unterem $\frac{1}{\infty}$ oder - $^1/_{60}$. Hiermit wird der Astigmatismus corrigirt und der Fernpunkt beim Sehen durch den oberen Theil des Glases auf 4$^1/_2$ Fuss, durch den unteren Theil auf 15″ resp. 20″ gebracht werden.

Epicrisis. Oben (pag. 63) habe ich bemerkt, dass in allen von mir untersuchten Fällen von abnormem Astigmatismus ohne Ausnahme der Hauptmeridian des Krümmungs-Maximum sich der verticalen Stellung näherte. In dem hier beschriebenem Fall finden wir die Bestätigung der Regel, dass keine Regel ohne Ausnahme ist. Hier fällt wirklich, wie bei Young, das Krümmungs-Maximum nahezu mit dem horizontalem, das Krümmungs-Minimum mit dem verticalen Meridian zusammen. Unsere Patientin war sich nicht bewusst gewesen, weniger scharf zu sehen als andere. Es ist mir daraus wahrscheinlich geworden, dass

auch Young, dessen Astigmatismus ungefähr denselben Grad hatte, mit Unrecht sich eine vollkommene Sehschärfe zuschrieb, und wollte man seine vielen scharfen Beobachtungen zum Beweis des Gegentheils anführen, so stelle ich dem entgegen, dass unsere Patientin ganz vortrefflich zeichnete und malte. Dies scheinbare Räthsel ist wohl zu lösen. Myopen sind gewohnt, zum Zwecke des schärferen Sehens die Augen beinahe dicht zuzukneifen: die schmale Augenlidspalte verkleinert die Zerstreuungskreise, besonders in verticaler Richtung. Ist dabei auch Astigmatismus vorhanden, so wirkt eine schmale Augenlidspalte in doppelter Hinsicht vortheilhaft, indem sie nur die Strahlen eintreten lässt, welche in Meridianen von nahezu gleichem Krümmungsradius einfallen. Hieraus folgt, dass, während gewöhnliche Myopen von der Verengerung ihrer Augenlidspalte nur dann Vortheil haben, wenn es sich um das Erkennen entfernter, ausserhalb der deutlichen Sehweite gelegenen Objecte handelt, die Astigmatiker hierdurch ihr Sehvermögen auch für die Nähe verbessert finden. Eine sehr schmale Spalte beseitigt die vom Astigmatismus abhängige Störung fast ganz, und wenn nicht die Nachtheile von Diffraction und Lichtverminderung an deren Stelle traten, so konnte die Sehschärfe dadurch nahezu vollkommen werden. Unsere Patientin machte denn auch regelmässig von der Verengerung der Lidspalte Gebrauch, selbst beim Sehen in der Nähe, und es ist die Frage, ob nicht auch Young dies gethan habe. Den durch ein cylindrisches Glas erhaltenen Vortheil erkannte sie indess lebhaft an. Kleine Portraits vor allem wurden damit viel schärfer gesehen, und auch Nicht-Astigmatiker können sich, dadurch dass sie ein cylindrisches Glas vor das Auge halten, überzeugen, wie bald die Schärfe eines Portraits darunter leidet.

Das bei Myopie so gewöhnliche Verengern der Augenlidspalte ist den Astigmatikern im Allgemeinem nicht eigen. Bestimmt kommt es beim hypermetropischen Astigmatismus meistentheils nicht vor. Dies scheint nun darin seine Erklärung zu finden, dass hierbei im horizontalen Meridian ein hoher Grad von Hypermetropie besteht, welche, durch die Accommodation nicht überwunden, in dieser Richtung starke Lichtzerstreuung

verursacht und desshalb keinen Vortheil gewährt. Könnten die Augenlider eine verticale Spalte frei lassen, so würden die hypermetropischen Astigmatiker ohne Zweifel davon Gebrauch machen.

Das auf dem rechten Augen vorhandene Scotom stand, wie gesagt, mit dem Astigmatismus in keinem Zusammenhang.

Ueber die verordneten Gläser bleibt nur noch wenig zu bemerken: nur einige Worte bezüglich der Gläser à double foyer. Bei alten Leuten mit Hypermetropia acquisita habe ich zuweilen mit vielem Vortheil positive Gläser von $^1/_{30}$ in der oberen, von $^1/_{10}$ bis $^1/_8$ in der unteren Hälfte angewandt. Weiter bei Malern, welche durch den oberen Theil R = ∞, durch den unteren = 24″ bis 12″ verlangten und auch wirklich gebrauchten. Unsre Patientin brauchte für die Ferne - $^1/_{14}$ und sah beim Malen über die Brille hinweg. Indem sie dabei ihre Lidspalte verengerte, lag ihr Fernpunkt nicht weiter als in 9″. Diese Entfernung, welche einerseits zu klein war, entschädigte andererseits für den Mangel an Sehschärfe. Ich beabsichtigte, da nun einmal die Gewohnheit bestand, in so geringer Entfernung zu malen, den Fernpunkt nicht weiter als auf 15″ bis 20″ zu bringen. Bis dahin hatte ich noch niemals ein cylindrisches Glas mit einem sphärischem à double foyer verbunden, was jedoch, wie mir scheint, keine Schwierigkeiten machen kann.

2. Hypermetropischer Astigmatimus.

Die meisten Fälle von abnormem Astigmatismus gehören zur hypermetropischen Form. Im Allgemeinem lehrte die Erfahrung, dass bei hypermetropischen Augen, auch wenn der Astigmatismus innerhalb der Grenzen des normalen bleibt, die Asymmetrie grösser ist als bei myopischen und emmetropischen; und es kann darum nicht befremden, dass gerade diese Augen auch am meisten den abnormen, und zwar den höchsten Graden von Astigmatismus unterworfen sind. Sicher kommt die Annahme der Wahrheit ziemlich nahe, dass unter sechs hypermetropischen Augen eines an abnormem Astigmatismus leidet, und dass die mit

Hypermetropie so oft verbundene unvollkommene Sehschärfe in der Hälfte der Fälle grösstentheils von Astigmatismus abhängt.

Der grösste Theil der Fälle gehört zum einfachen hypermetropischen Astigmatismus. Während nämlich in dem liegendem Meridian die Hypermetropie ansehnlich ist, (von $^1/_{30}$ bis zu $^1/_6$ und mehr) findet man in dem stehendem, wenn nicht Emmetropie, so doch so geringe Grade von Myopie oder Hypermetropie, dass die Grenzen des einfach hypermetropischen Astigmatismus nicht überschritten werden. Inzwischen sind uns auch zahlreiche Fälle von zusammengesetztem hypermetropischem Astigmatismus vorgekommen, selbst bis zu H $^1/_7$ im Hauptmeridian der stärksten (bei H $^1/_5$ in dem der schwächsten) Krümmung. — Bei jugendlichen Personen kommt die Hypermetropie im Meridian des Krümmungs-Maximum manchmal erst bei künstlicher Accommodationsparalyse zum Vorschein.

Was die Form des Auges anlangt, so erinnern wir, das bei hypermetropischem Astigmatismus der Radius ϱ^0 der Cornea im horizontalen Meridian oft ungewöhnlich gross ist. Ferner kann man sich bei ausgedehnten Bewegungen des Auges oftmals überzeugen, dass die Sehachse zu kurz und dass die verticale Achse kleiner ist als die horizontale.

Das Sehvermögen charakterisirt den Zustand als H mit Herabsetzung der Sehschärfe. Damit ist ein hoher Grad von Asthenopie verbunden. Für eine kurze Zeit kann ein grosser Druck noch gelesen werden, aber bald tritt Ermüdung ein, manchmal sogar Schmerzen. Einer der Kranken (mit Ah $^1/_{18}$) 26 Jahr alt, schrieb mir Folgendes: „Mein Beruf ist der eines Bureau-Beamten. Der erste Versuch zur Arbeit war mir am unangenehmsten. Darauf folgte bald Blendung, so dass ich mich am besten befand, wenn ich die Augen zudrückte und einige Zeit geschlossen hielt. Dann ging das Arbeiten etwas besser; es war mir jedoch nicht möglich,

den ganzen Vormittag zu arbeiten, oftmals musste ich unterbrechen. Am Ende waren meine Augen schmerzhaft und am besten befand ich mich, wenn ich dann in der freien Luft und geschützt gegen die Sonne eine geraume Zeit spazieren ging. Des Abends bei Gas-Licht ging es Anfangs ziemlich gut, bald aber kam ein rother Schimmer. Oftmals musste ich meine Arbeit unterbrechen, und ging mit müden und schmerzenden Augen nach Hause." Er bekam $^1/_{18}$ c zum Arbeiten und für gewöhnlich zu tragen. Darauf theilte er mit: „Beim Gebrauch der Brille empfand ich sofort am ersten Tage eine unglaubliche Besserung (seine Sehschärfe war nämlich von $^2/_7$ auf $^3/_4$ gebracht). Des Morgens fühlte ich keine schmerzhaften Empfindungen und es war mir leicht, den ganzen Morgen ununterbrochen zu arbeiten. Ich sah alles unendlich schärfer. Abends verursachte mir das Licht nicht die geringste Störung. — In der freien Luft ist, wenn ich ohne Brille gehe, auch alle Schmerzhaftigkeit gehoben. Früher versuchte Brillen (gewöhnliche sphärische) hatten mir nichts geholfen."

Bei hypermetropischem Astigmatismus wird durch positive Gläser das Sehen für die Ferne verbessert, besonders bei der zusammengesetzten Form; aber auch selbst, wenn die Accommodation durch ein Mydriaticum aufgehoben ist, erscheint es unmöglich, den Grad von H genau zu bestimmen. Dieser Umstand lässt bereits Astigmatismus vermuthen. Uebrigens werden horizontale Striche in der Entfernung deutlicher gesehen als verticale. Manche haben dies von selbst bemerkt, einzelne theilen es sogar mit, ohne danach gefragt zu sein. In dieser Hinsicht haben wir hier also gerade das Gegentheil von dem, was man bei myopischem Astigmatismus bemerkt: dabei sind in der Entfernung nur die verticalen Linien deutlich. Besonders bei den einfachen Formen von Am und Ah kommt dieser Gegensatz stark zu Tage. Durch ein sphärisches negatives Glas kann

man Am in Ah und durch ein positives Ah in Am verändern, wobei denn mit einem Male die Richtung des deutlich gesehenen Streifens sich umkehrt.

a. Einfach hypermetropischer Astigmatismus. Einen Fall habe ich beobachtet von

Fall III. Am auf dem rechten, Ah auf dem linken Auge. Herr R. M., Bürgermeister zu O., 38 Jahr alt, konnte früher mit Unterbrechungen lesen und schreiben, obwohl nicht ohne Anstrengung. In der letzten Zeit ist ihm dies fast unmöglich geworden. Vergeblich versuchte er sich durch Brillen zu helfen. Sehr starke Beleuchtung kam ihm noch am meisten zu Statten. Das linke Auge hatte für die Ferne eine Sehschärfe von $^1/_3$ das rechte von $^1/_5$. Ausdrücklich gab er an, dass das linke Auge für die Ferne doppelt sehe, und dass die Striche der nebeneinander stehenden Buchstaben sich untereinander bedecken. Ich vermuthete sofort Astigmatismus. Durch Herumdrehen von $^1/_{16}$ c vor diesem Auge wurde bei horizontalem Stand der Achse die Sehschärfe auf $^1/_{18}$ herabgesetzt, bei verticalem Stand zur Vollkommenheit = 1 gebracht. Dasselbe Glas ergab für das rechte Auge durchaus keine Verbesserung, wie auch das Glas gedreht wurde, in der Entfernung blieb alles undeutlich. Und doch wurde gerade mit diesem Auge am besten gelesen. Dass auf dem linken Auge ungefähr $^1/_{16}$ Ah bestand, war durch obigen Versuch schon ausgemacht, was dem rechten Auge fehlte war noch dunkel. Beim Fixiren entfernter Striche erklärte er, mit dem linken Auge die horizontalen deutlich zu sehen; aber nun entdeckte er zugleich, dass er mit dem rechten Auge die verticalen noch ziemlich scharf sah, von den horizontalen dagegen wenig oder nicht unterscheiden konnte. Ich begriff nun dass auf dem rechten Auge Am bestehen müsse und wirklich sah er mit - $^1/_{16}$ bei horizontaler Richtung der Achse, mit diesem Auge in die Ferne nahezu scharf. Daraus folgte sogleich, dass er mit $^1/_{16}$ bei verticaler Richtung der Achse vortrefflich würde lesen können, in der That wurde No. I damit in 1 Fuss Entfernung gesehen, die Sehschärfe war vollkommen. Er theilte mir nun

auch mit, dass bei unbewaffneten Augen das linke die Objecte kleiner sehe als das rechte, und bei genauer Betrachtung war es nicht zu verkennen, dass das erstgenannte tiefer lag.

Hiermit war mir auf einem ungewohnten Wege der Zustand der beiden Augen schon sofort hinlänglich klar geworden. Indessen wurde auch die systematische Untersuchung nicht verabsäumt. Den Lichtpunkt sah das rechte Auge als stehenden, das linke als liegenden Streifen; durch - $^1/_{16}$ wurde der erstere in einen liegenden, durch $^1/_{16}$ der letztere in einen stehenden verwandelt; die Hauptmeridiane wichen nicht merkbar von der horizontalen und verticalen Ebene ab. Durch eine in verticaler Richtung gehaltene $1^3/_4$ mm. breite Spalte hatte das linke Auge für die Ferne S = $^1/_2$, durch Gläser von $^1/_{80}$ noch etwas zu verbessern; das rechte nur $^1/_3$, durch - $^1/_{18}$ auf $^2/_3$ steigend. In der Nähe dagegen las das rechte Auge sehr bequem durch die verticale Spalte, das linke mühsam. Durch eine horizontale Spalte hatte das rechte Auge für die Ferne eine durch Gläser nicht weiter zu verbessernde Sehschärfe von $^2/_3$; das linke sah damit in die Ferne sehr unvollkommen und verlangte Gläser von $^1/_{16}$ bis $^1/_{13}$. Dass das linke Auge durch die horizontale Spalte beinahe gar nicht, das rechte nur unvollkommen lesen konnte, ist mit allem obenstehenden in Uebereinstimmung.

Aus alle dem ergab sich nun:

O. D. in V, M = $^1/_{18}$
in H, E
O. S. in V, H = $^1/_{80}$
in H, H = $^1/_{14}$.

Auf dem rechten Auge war daher Am $^1/_{18}$ ohne Complication. Auf dem linken eigentlich Ah = $^1/_{14}$ - $^1/_{80}$ = $^1/_{17}$.

Mit $^1/_{17}$ c links und - $^1/_{18}$ c rechts wurde in die Ferne gut gesehen und eine mit diesen Gläsern versehene Brille wurde mit grosser Befriedigung getragen. Dieselbe Brille war zum Lesen ganz ungenügend. Es zeigte sich, dass nur eine geringe Accommodation bestand. Es wurde deshalb nöthig befunden, beim Arbeiten in der Nähe den Fernpunkt R auf 18 bis 20″ zu bringen. Dies liess sich für das rechte Auge durch ein einfach cy-

lindrisches Glas von $^1/_{18}$ c, für das linke durch ein sphärisch cylindrisches

$$^1/_{20}\,s \supset {}^1/_{18}\,c$$

erreichen.

Epicrisis. Der obenstehende Fall möge lehren, wie man mitunter auf einem mehr directem Wege als durch die systematische Untersuchung zur Erkenntniss des Astigmatismus gelangen kann. Auch die Untersuchung mit dem Augenspiegel hätte unmittelbar darauf hinleiten können. Bei Entspannung der Accommodation sah ich im linkem Auge allein die horizontalen, im rechten allein die verticalen Gefässe scharf. Indessen ist es, wenn man nicht schon viele Astigmatiker untersucht hat, zur Ersparung von Zeit besser, sich an die gegebenen Regeln zu halten. Denn nur in Fällen, wo in dem einem der Meridiane vollkommene Emmetropie besteht, kann der Versuch mit cylindrischen Gläsern schneller zum Ziele führen; aber diese Fälle gehören zu den Ausnahmen.

Bei einem späterem Besuch desselben Patienten liess ich ihn durch ein dunkel violettes Glas nach einer viereckigen hellen Oeffnung sehen (vergl. pag. 37) Was ich erwartete, geschah: mit dem rechten Auge sah er den oberen Rand blau, mit dem linken den Aussenrand roth; bei Bewaffnung der Augen mit Gläsern von - $^1/_{30}$ war für das rechte Auge der obere Rand blau, die Aussenränder roth, und für das linke Auge verhielt sich beides gerade umgekehrt.

Oben wurde bereits bemerkt, dass das linke Auge die Objecte kleiner sah als das rechte. Dies hängt nicht vom Astigmatismus ab. Der Astigmatismus bewirkte, dass die verticalen Dimensionen der Objecte sich für beide Augen vergrössert zeigen mussten (vergl. pag. 35) und dies war auch wirklich der Fall. Dass dagegen die Objecte dem rechten Auge grösser erschienen als dem linken, war die Folge der längeren Sehachse des ersteren Auges. In beiden hatte die Cornea dieselbe Form, höchst wahrscheinlich auch die Linse, und als einziger Unterschied blieb daher eine Differenz in der Länge der Sehachse übrig. Dabei liegt nun der zweite Knotenpunkt im rechtem Auge entfernter

von der Netzhaut als im linken, und sind daher die Netzhautbilder auf ersterem grösser. Geht hiermit nun keine Ausdehnung Hand in Hand (Atrophie der Membranen wurde mit dem Augenspiegel nicht gesehen), so wird das grössere Netzhautbild auch grösser projicirt.

Hiermit ist die Grössendifferenz, welche die Objecte für beide Augen darbieten, erklärt. Die Grösse der Objecte verändert sich bei der Correction durch Gläser: durch positive verschiebt sich der Knotenpunkt weiter nach vorn, durch negative weiter nach hinten. Beinahe allemal wird man finden, dass, wenn man bei Ungleichheit der Augen R für beide auf gleiche Entfernung bringt, eine Umkehrung in der Grösse der Bilder eintritt: das Auge, welches das stärkere negative oder das schwächere positive Glas gebraucht, sieht nun die Objecte am kleinsten. Ist dieser Unterschied gross, so kann er störend werden, und manchmal muss dies auf Kosten der Deutlichkeit des Sehens für das eine Auge vermieden werden. Dadurch, dass man die Gläser sehr dicht vor dem Auge anbringt und durch genau berechnete Krümmung für die beiden Flächen der Gläser, wodurch ihre Knotenpunkte bei gleicher Brennweite eine andere Lage erhalten, kann man hierfür dann noch zum Theil Abhülfe schaffen.

In dem Fall, der uns hier beschäftigt, wurde durch cylindrische Gläser, wenn sie sich dicht vor dem Auge befanden, der Grössenunterschied der Objecte für beide Augen nahezu corrigirt. Wenigstens ergab sich daraus keine Beschwerde. Nur wenn sie nicht dicht vor der Hornhaut standen, wurde der Grössenunterschied der Bilder einigermaassen störend. Die Ursache liegt wohl darin, dass die Hypermetropie des linken Auges durch die Gläser nicht vollkommen corrigirt wurde und an dieser Seite mit dem zum Lesen bestimmten Glas der Fernpunkt etwas weiter vom Auge entfernt blieb. Jedenfalls war auch ein geringer Grad von latenter Hypermetropie vorhanden, und obenein gab ich $^1/_{20}$ s anstatt $^1/_{18}$ s. Beim Lesen sah das linke Auge mit diesen Gläsern denn auch weniger scharf als das rechte.

b. Der zusammengesetzt hypermetropische Astigmatismus besitzt neben einem hohen Grad von Hypermetropie im horizontalem Meridian durchgehends eine relativ geringe im verticalem. Selten habe ich in diesem die Hypermetropie grösser als $^1/_{22}$ gefunden; verschiedene Male ungefähr $^1/_{28}$, wobei im horizontalem Meridian die Hypermetropie bis auf $^1/_5$ und mehr steigen kann. Man sieht, dass der zusammengesetzt hypermetropische Astigmatismus sich nicht weit vom einfachen entfernt.

Bemerkenswerth ist es, dass im Allgemeinen die Sehstörung geringer war, als man bei dem Grad des Astigmatismus erwartet haben würde. Im Allgemeinem findet man die Sehstörung dem Grad des Astigmatismus nicht entsprechend: die Grösse der Pupille, ihre Lage in Beziehung zur Hornhaut, ihre Verengerung bei der Accommodation, auch die Form der Krümmung in den verschiedenen Meridianen, endlich die Complication mit unregelmässigem Astigmatismus üben zusammen einen grossen Einfluss aus.

Fall IV. Zusammengesetzter hypermetropischer Astigmatismus. Herr R., 18 Jahr alt, hat niemals scharf gesehen. Er giebt an, an den Rändern der Objecte einen Schatten zu sehen; beim Arbeiten sucht er stets starke Beleuchtung, nichtsdestoweniger entstehen bald Erscheinungen von Asthenopie. Trotzdem hat er sich viel mit Studien beschäftigt. Vor einigen Jahren hat er einen Augenarzt consultirt, der die Störung für angeborne Amblyopie und als solche für unheilbar erklärte. Dies erschien um so wahrscheinlicher, als sein Bruder (bei normalem Zustand des rechten Auges) auf dem linken Auge eine mit der auf beiden Augen unseres Patienten vorhandenen, übereinkommende Sehstörung hatte. Bei ihren Eltern und den übrigen Kindern ist auf beiden Augen die Sehschärfe vollkommen.

Der Kranke wandte sich an mich wegen einer leichten Bindehaut-Entzündung. Diese wich bald, aber es zeigte sich, dass die Sehschärfe des linken Auges nur $^2/_7$, die des rechten in der

Nähe $^2/_5$, für die Ferne $^1/_3$ betrug. Die ophthalmoskopische Untersuchung lehrte, zuerst, dass die Sehnervenflächen eben so roth waren, als der Fundus oculi im Allgemeinen, — welche capillaere Hyperaemie in Folge von grosser Accommodations-Anstrengung, mit vorn übergebeugter Kopfhaltung, besonders bei jugendlichen Patienten sich leicht entwickelt. Zugleich aber bemerkte ich, dass, während die horizontal verlaufenden Netzhautgefässe bei geringer Accommodationsanspannung leicht zu sehen waren, die verticalen mit einer Linse von $^1/_8$ am deutlichsten erschienen. Dies galt für beide Augen. Am Bestehen von Astigmatismus war daher nicht zu zweifeln. Auf die Frage, ob er horizontale und verticale Linien in der Ferne gleich gut sehe, gab er sofort an, bereits früher bemerkt zu haben, dass er die verticalen Linien auf einer Schiessscheibe nur mit ganz horizontal übergebeugtem Kopf scharf sehen könne.

Die Krümmungsradien der beiden Hornhäute wurden gemessen, zuerst in der Horizontal-Fläche (H) und zwar in der Sehlinie ϱ^0, 10° nach der Nasenseite $\varrho n'$, 20° nach der Nasenseite $\varrho n''$, 10° und 20° nach der Schläfenseite $\varrho t'$ und $\varrho t''$, und ebenso in der verticalen Ebene (V) zuerst in der Sehlinie ϱ^0 und darauf 10° und 20° nach oben $\varrho s'$, $\varrho s''$ und 10° und 20° nach unten $\varrho i'$ und $\varrho i''$. An jeder Stelle wurde der Mittelwerth aus sechs Beobachtungen gezogen. Die berechneten Resultate sind folgende:

	in H.		in V.	
Rechtes Auge	$\varrho n''$	9,80	$\varrho i''$	8,04
	$\varrho n'$	8,76	$\varrho i'$	7,47
	ϱ^0	8,32	ϱ^0	7,30
	$\varrho t'$	8,24	$\varrho s'$	7,08
	$\varrho t''$	8,61	$\varrho s''$	7.82
Linkes Auge	$\varrho n''$	10,38	$\varrho i''$	7,59
	$\varrho n'$	8,58	$\varrho i'$	7,43
	ϱ^0	8,38	ϱ^0	7,38
	$\varrho t'$	8,30	$\varrho s'$	7,21
	$\varrho t''$	8,57	$\varrho s''$	7,55

Hieraus ergiebt sich zuerst, dass die Cornea einen hohen Grad von Astigmatismus erklärt (die Differenz der Krümmungsradien in der Sehlinie gab für das rechte Auge As = 1 : 6,374, für das linke Auge As = 1 : 6,8); zweitens, dass die Excentricität des verticalen elliptischen Durchschnittes, besonders auf dem linken Auge, sehr klein ist; drittens, dass die Form der Krümmung ansehnlich von der Ellipse abweicht; viertens, dass die Sehlinie die Hornhaut in einem sehr weit nach innen und zugleich weit nach unten vom Hornhautscheitel gelegenem Punkte schneidet.

Auf dem rechten Auge wurde die Accommodation durch Sulphas Atropini paralysirt. Die Sehschärfe nahm dabei ansehnlich ab und verbesserte sich durch positive Gläser von $^1/_{16}$ bis $^1/_7$ sehr wenig. Die Zerstreuungsbilder eines Lichtpunktes lehrten, dass der stehende Hauptmeridian ungefähr 7 Grad nach aussen, der liegende um ebensoviel nach aussen und unten geneigt war. Mit $^1/_{28}$ bis $^1/_{24}$ wurde die schmalste liegende Linie gesehen, von welcher indessen zahlreiche Nebenlinien ausgingen; mit $^1/_{12}$ war das Zerstreuungsbild eine liegende Raute <>, mit $^1/_7$ eine stehende ◊, mit $^1/_9$ eine sehr unregelmässig viereckige, an beiden Seiten eingebogene Figur, die mit $^1/_5$ in eine stehende Linie mit centraler Verdickung und zackigen Enden überging, und mit $^1/_5$, bei einem Abstand von $^1/_2$″ vom Auge, am schmalsten wurde. Offenbar bestand viel unregelmässiger Astigmatismus; der regelmässige schien $\frac{1}{4{,}5} - \frac{1}{28} = 1 : 5{,}36$ zu betragen. Indessen fand sich bei der Untersuchung mit dem Augenspiegel und bei Prüfung mit cylindrischen Gläsern ein geringerer Grad, nämlich ungefähr $^1/_7$. Offenbar war mit den linienförmigen Zerstreuungsbildern kein scharfes Resultat zu erreichen. Die Methode, den Refractionszustand in den beiden Hauptmeridianen mit Hülfe eines stenopaeischen Schlitzes zu bestimmen, hatte ich noch nicht gefunden. Auch besass ich nur ein cylindrisches Glas und zwar $^1/_8$. Dies Glas, in höchstens 1″ Entfernung vom Auge, verbesserte die Sehschärfe von $^2/_7$ auf $^2/_3$. Es ist die Frage, ob bei grösserer Auswahl von Gläsern nicht eine noch grössere Sehschärfe zu erreichen sein würde. Vielleicht würde, um Asthe-

nopie ganz auszuschliessen, dies Auge für die Nähe ein sphärisch cylindrisches Glas gebrauchen, während vorläufig für die Ferne ein einfach cylindrisches Glas genügt: bei jugendlicher Accommodationsbreite ist nämlich die dann übrig bleibende Hypermetropie von $^1/_{28}$ leicht genug zu überwinden.

Vom linken Auge ist nur notirt, dass es gleichfalls in beiden Hauptmeridianen hypermetropisch ist, dass die Sehschärfe für die Ferne $^2/_9$ beträgt, mit $^1/_{24}$ auf $^2/_7$ steigt, endlich dass Gläser von $^1/_8$ c ansehnliche Verbesserung hervorbringen.

Ueber anderweitige Erscheinungen glaube ich mich nicht verbreiten zu müssen. Auf Grund alles früher mitgetheilten ist man im Stande, sie vorherzusagen, ohne fürchten zu müssen, durch die thatsächlichen Resultate beschämt zu werden. Eine Aufzählung und Analyse würde nur Wiederholung sein. Lieber will ich daher noch einige Punkte besprechen von

Fall V., welcher sich auf den Bruder des vorigen Herrn R. Jr. bezieht.

Zuerst, was die Krümmungsradien der beiden Hornhäute anlangt, so fanden wir:

		in H.		in V.
Rechtes Auge	$\varrho n''$	9,10	$\varrho i''$	8,42
	$\varrho n'$	8,38	$\varrho i'$	8,10
	ϱ^0	8,11	ϱ^0	8,10
	$\varrho t'$	8,10	$\varrho s'$	8,27
	$\varrho t''$	8,10	$\varrho s''$	8,04
Linkes Auge	$\varrho n''$	9,74	$\varrho i''$	8,06
	$\varrho n'$	8,78	$\varrho i'$	7,98
	ϱ^0	8,44	ϱ^0	7,69
	$\varrho t'$	8,61	$\varrho s'$	7,85
	$\varrho t''$	8,77	$\varrho s''$	7,63.

Ein Blick auf diese Zahlen lehrt, dass die linke Hornhaut in der Mitte des verticalen Durchschnittes einen viel kleineren Krümmungsradius hat, als in der Mitte des horizontalen Durchschnittes, während für die rechte Hornhaut in beiden Richtungen

die Krümmungsradien einander gleich sind. In Uebereinstimmung hiermit ist die Sehschärfe des rechten Auges vollkommen, während sie für das linke nur $^1/_{10}$ beträgt, wobei die noch zu erkennenden grossen Buchstaben derselben Zeile nicht regelmässig auf einer geraden Linie zu stehen scheinen. Ferner ist in beiden Augen die Krümmung der Hornhaut sehr unregelmässig. Zuerst ist der Radius 20° oberhalb der Sehlinie noch kleiner als in der Sehlinie, eine Anomalie, die uns bis dahin weder bei gesunden noch bei astigmatischen Augen irgend vorgekommen war, zum zweiten zeigte es sich, dass im horizontalen Meridian des rechten Auges der Krümmungsradius nach der Schläfenseite hin auf einer grossen Strecke unverändert bleibt. Es ist daher klar, dass aus den gefundenen Werthen keine Ellipsen zu berechnen sind. Es verdient ferner unsre Aufmerksamkeit, dass die Form des Astigmatismus des linken Auges ganz übereinstimmt mit der, welche auf beiden Augen des Bruders beobachtet wurde. Es liegt hier ein hypermetropischer Astigmatismus vor, wahrscheinlich mit Hypermetropie in beiden Meridianen. Wurde auch ein Lichtpunkt ohne Gläser als schmalster horizontaler Streif gesehen, mit $^1/_8$ als schmalster verticaler, so ist doch zu erwarten, dass bei künstlicher Mydriasis zum Sehen des schmalsten horizontalen Streifens ein schwach positives Glas, zum Sehen des schmalsten verticalen ein Glas von mehr als $^1/_8$ nöthig sein würde. Auch die Richtung der Hauptmeridiane, ja sogar die eigenthümliche Form der Zerstreuungsbilder stimmt in beiden Fällen überein, so dass auch der unregelmässige Astigmatismus keinen merkbaren Unterschied darbot.

Vergleichender Weise wurden für das rechte und linke Auge dieses Kranken die kleinsten Entfernungen bestimmt, in welchen verticale und horizontale Drähte des Optometers scharf gesehen wurden: diese Entfernungen betrugen für das rechte Auge $9^1/_8$" und $6^1/_6$", mit Gläsern von $^1/_5$, $3^5/_8$" und $3^1/_{12}$"; für das linke Auge mit Gläsern von $^1/_5$, 8 und $3^1/_4$ Zoll. Die Genauigkeit, mit welcher die Entfernungen angegeben wurden, liess nichts zu wünschen übrig; sehr deutlich gaben diese Zahlen die Differenz der Asymmetrie wieder, ja es ergab sich sogar daraus, dass im

verticalen Meridian beide Augen nicht viel von einander abwiehen. Dass das rechte Auge, selbst im verticalen Meridian, einige latente Hypermetropie besitzt, ist wegen der weiten Entfernung des Nahepunktes des deutlichen Sehens kaum zu bezweifeln.[1])

Mit einem Cylinderglas von $^1/_{12}$ c wurde die Sehstörung des linken Auges beinahe ganz corrigirt und umgekehrt brachte ein Glas von - $^1/_{11}$ c (mit entgegengesetzter Richtung der Achse) auf dem rechten Auge einen mit dem des linken hinreichend übereinstimmenden Zustand zu Wege. Merkwürdig waren die hierüber angestellten Versuche. Besonders waren bei abwechselndem Produciren und Corrigiren des Astigmatismus auf jedem der beiden Augen die Differenzen in der Form der Objecte und in der Deutlichkeit von Streifen verschiedener Richtung für uns ebenso befriedigend, als überraschend für den Kranken. Was oben bezüglich der scheinbaren Grösse der verschiedenen Dimensionen eines Quadrates vor und nach der Correction des Astigmatismus gesagt wurde, fand hier seine vollkommene Bestätigung.

Unlängst hatte ich Gelegenheit, Herrn R. Jr. auf's Neue zu untersuchen und notirte mir noch Folgendes:

Im aufrechtem Bild sieht der Emmetrop die horizontalen Netzhautgefässe des linken Auges bei Entspannnung seiner Accommodation, die verticalen bei stärkerer Anspannung oder mit Gläsern von $^1/_{10}$. Die Sehnervenfläche zeigt sich im umgekehrtem Bilde in die Breite verzogen, was besonders deutlich hervortritt bei Vergleich mit der Sehnervenfläche des rechten Auges.

Die Untersuchung mit der stenopaeischen Spalte giebt für den stehenden Hauptmeridian $H = {^1/_{40}}$, für den liegenden $H = {^1/_{10}}$. Mit der stehenden Spalte steigt die Sehschärfe für die Ferne von $^1/_{10}$ auf $^1/_3$, und ein entfernter Lichtpunkt wird damit als ein Punkt gesehen. Die liegende Spalte giebt als solche keine Verbesserung, aber mit Zuhülfenahme von $^1/_{10}$ steigt die Sehschärfe für die Ferne auf $^1/_4$. — Am liebsten hält er die Spalte 1″ bis $1^1/_2$″ vom Auge entfernt. — Mit $^1/_{40}$ s $\subset$ $^1/_{16}$ c wird die Sehschärfe ungefähr $^3/_8$, mit $^1/_{12}$ c ungefähr $^1/_{10}$.

1) Vergl. Ametropie pag. 85.

3. Gemischter Astigmatismus. Amh und Ahm. Wir bemerkten oben, dass die meisten Fälle von myopischen und vor Allem von hypermetropischem Astigmatismus wenig vom einfachen abweichen. Dasselbe kann man vomgemischten sagen: entweder man findet einen hohen Grad von H in dem liegenden Hauptmeridian, verbunden mit einem geringen Grad von M im stehenden oder einen hohen Grad von M im letztgenannten, mit geringer Hypermetropie im liegenden. Das Vorkommen hinlänglich gleicher Grade beider Formen von Ametropie in entgegengesetzten Hauptmeridianen gehört zu den Ausnahmen. Am nächsten daran grenzt noch der untenstehende Fall, in welchem jedoch der Grad der Asymmetrie nicht erheblich war.

Fall VI. Amh auf dem linken Auge. Herr V., 59 Jahre alt, hat auf dem rechten Auge S = $^1/_2$, auf dem linken S = $^1/_{12}$. Das rechte Auge ist nahezu emmetropisch: Verbesserung des Sehens in die Ferne durch $^1/_{60}$ ist zweifelhaft; - $^1/_{60}$ wirkt nachtheilig. Versuche mit dem Lichtpunkt weisen keinen abnormen regelmässigen, aber einen sehr entwickelten unregelmässigen Astigmatismus nach.

Von Jugend auf hat Patient sein linkes Auge nicht gebrauchen können; es besteht indessen weder eine Trübung, noch eine organische Veränderung im Fundus oculi. Positive und negative sphärische Gläser geben keine Verbesserung. Die Spiegelbilder der Cornea liessen an Asymmetrie denken. Die Untersuchung mit dem Augenspiegel lieferte davon den Beweis: im aufrechten Bild sehe ich als Emmetrop bei einiger Accommodationsanspannung die vertical verlaufenden Gefässe der Netzhaut vollkommen scharf, horizontal verlaufende werden dagegen bei Anspannung der Accommodation sehr unklar und bei vollständiger Entspannung nicht scharf gesehen. Ich schloss hieraus auf Myopie im verticalen, Hypermetropie im horizontalen Meridian. Die Untersuchung mit dem Lichtpunkt ergab, dass beide Hauptmeridiane wenig von der verticalen und horizontalen Ebene abweichen: die schmalste verticale Linie wurde mit $^1/_{45}$, die

schmalste horizontale mit - $^1/_{30}$ gesehen. Die Diagnose lautete: gemischter Astigmatismus = $^1/_{18}$, zusammengesetzt aus

$$M\ ^1/_{30} + H\ ^1/_{45}.$$

Die Cornea gab hierüber mehr als hinreichend Rechenschaft; der Krümmungsradius in der Sehlinie betrug in der horizontalen Ebene 8,29 mm., in der verticalen = 7,69, was einen Astigmatismus von 1 : 11,67 ergiebt. Da (wenigstens bei der Methode mit dem Lichtpunkt) nur Amh $^1/_{18}$ gefunden wurde, schien die Krystalllinse den Astigmatismus der Cornea zum Theil zu compensiren.

Ganz in Uebereinstimmung mit der Ametropie in den beiden Hauptmeridianen sieht das linke Auge verticale Linien in der Ferne etwas besser, als horizontale. Mit $^1/_{45}$ wurden horizontale noch schlechter, verticale scharf gesehen. Umgekehrt wurden mit - $^1/_{30}$ horizontale recht gut, verticale dagegen undeutlich wahrgenommen. Die astigmatische Linse von Stokes, auf eine Wirkung von 2 . $^1/_{32}$ = $^1/_{16}$ eingestellt, macht die Sehschärfe plötzlich 4 Mal grösser, indem sie dieselbe von $^1/_{10}$ auf $^2/_5$ bringt. Mit $^1/_{18}$ c, combinirt mit - $^1/_{30}$ s, stieg sie bis auf $^1/_2$ und wird daher noch besser als auf dem rechten Auge.

Zum Sehen in die Ferne wurde für das rechte Auge ein Planglas, für das linke Auge ein bi-cylindrisches Glas von $^1/_{45}$ c $\sqcap$ - $^1/_{30}$ c verordnet. Zum Arbeiten in der Nähe wünschte ich, der nicht vollkommenen Sehschärfe wegen, R auf 12″ zu bringen. Dies geschieht durch ein sphärisch cylindrisches Glas von $^1/_{20}$ s $\supset\!\subset$ $^1/_{18}$ c: durch $^1/_{20}$ wird nämlich R im verticalen Meridian ($^1/_{30}$ + $^1/_{20}$ = $^1/_{12}$) = 12″, während durch $^1/_{18}$ c R im horizontalen auf denselben Werth gebracht wird. Hierbei nun erhielt das rechte Auge einfach $^1/_{12}$ s. Die Bilder waren von hinlänglich gleicher Grösse, und das Sehen mit beiden Augen zugleich sehr angenehm. Dabei übertraf die Sehschärfe des linken Auges noch die des rechten

Epicrisis. Dieser Fall wurde, trotz des geringen Grades von H im horizontalen Meridian, zum gemischten Astigmatismus gerechnet. Der Grund davon ist der, dass bei der sehr geringen,

dem Lebensalter des Patienten entsprechenden Accommodationsbreite, die Hypermetropie keineswegs überwunden werden konnte. Sie musste also durchaus corrigirt werden, und dies würde sogar bei einem jugendlichen Individuum zweckmässig gewesen sein, obgleich ein solches mit - $^1/_{18}$ c scharf in die Ferne gesehen und sogar beim Lesen wenig Schwierigkeiten gefunden haben würde.

Die Sehschärfe des linken Auges war im Verhältniss zum Grade des Astigmatismus sehr unvollkommen. Man würde geneigt sein, diese beträchtliche Störung mit dem besondern Umstand in Zusammenhang zu bringen, dass der gefundene Grad von Astigmatismus die Resultante einer doppelten Asymmetrie war, einer grösseren, nämlich der Cornea und einer kleineren, entgegengesetzten, der Krystalllinse; aber wäre diese Voraussetzung richtig, so würde man, meines Erachtens, von cylindrischen Linsen nicht die ansehnliche Verbesserung der Sehschärfe erwarten dürfen die wir angegeben haben. Eine Erhöhung der Sehschärfe von $^1/_{10}$ auf reichlich $^1/_2$ kann man gewiss ungewöhnlich nennen.

Einigermassen räthselhaft ist mir auch jetzt noch die Herabsetzung der Sehschärfe des rechten Auges. Zwar ist dieselbe in einem Lebensalter von 59 Jahren nur noch ausnahmsweise vollkommen; ebenso selten aber ist sie ohne merkbare anatomische Veränderung auf $^1/_2$ gesunken. Ferner bleibt der Regel nach bei Astigmatismus des einen Auges, trotz der möglichst vollkommnen Correction, die Sehschärfe des astigmatischen hinter der des andern zurück; hier war das Gegentheil der Fall. Ich bin daher sehr geneigt, anzunehmen, dass auch auf dem rechten Auge Astigmatismus in einem die Sehschärfe herabsetzenden Grade anwesend war. Eine genaue Untersuchung hierüber fehlt, auch sind die Krümmungsradien der Cornea nicht gemessen.

Die zum Sehen in die Ferne bestimmten Gläser konnten, im Verhältniss zur Unbequemlichkeit des Brillentragens, dem Kranken keine grossen Vortheile gewähren; andererseits bestanden aber auch durchaus keine Bedenken, sie auf Verlangen zu gewähren. Von viel grösserer Bedeutung war die Brille zum Sehen in der Nähe. Selbst abgesehen von den Vorzügen des stereosko-

pischen Sehens, ist das Lesen mit zwei Augen viel angenehmer, und wenn die Sehschärfe beider unvollkommen ist (vorausgesetzt, dass keine Verdunklung im Spiel sei) auch viel bequemer, als mit einem Auge allein: selbst die Sehschärfe wird dadurch merklich erhöht. Zum Erkennen kleiner Objecte würde sogar eine noch stärkere Brille erlaubt sein: dabei bliebe in der Combination das sphärisch-cylindrische Glas $^1/_{12}$ c constant und nur $^1/_{20}$ s brauchte verstärkt zu werden.

B. Wir haben gesehen, dass wenn die Cornea für sich selbst einen abnormen Grad von angeborenen Astigmatismus hervorbringt, die Linse diesen entweder erhöhen oder vermindern kann. Im letzteren Fall bleibt indessen der Einfluss der Cornea überwiegend, im ersteren ist die Wirkung der Linse schwächer und daher nur als eine Zugabe zu betrachten. Im Gegensatz hierzu kommt es nun manchmal vor, dass der vorhandene abnorme Grad von Astigmatismus als abhängig von der Krystalllinse, und zwar von ihrer abnormen Lage, nachgewiesen werden kann. Dieser Zustand kann fürs erste angeboren sein. Es sind zahlreiche Fälle bekannt geworden, in denen die Linse so excentrisch lag, dass der Aequator durch die Ebene der Pupille ging, und daher ein Theil der Pupillar-Ebene ohne Linse blieb. Hierbei besteht dann Astigmatismus und zwar auf sehr störende Weise, aber er ist unregelmässiger Natur, und cylindrische Gläser können hierbei keine Verbesserung zu Wege bringen.[1]) Manchmal indessen kommen Fälle vor, wo die Verschiebung der Krystalllinse so gering ist, dass sie noch die ganze Pupillarbene einnimmt, zugleich aber eine so schiefe Lage

---

[1]) Vergl. Ametropie pag. 122 u. 123. Man findet hier erwähnt, dass gewöhnlich besser gesehen wird mit positiven Gläsern, welche die Hypermetropie in dem Theile der Pupillar-Ebene corrigiren, wo die Linse fehlt. Dabei kann man nun noch einen Theil des Brillenglases undurchsichtig machen, so dass die Strahlen, welche durch die Krystalllinse gehen würden, abgeschnitten werden.

hat, dass ein ansehnlicher Grad von ziemlich regelmässigem Astigmatismus daraus hervorgeht. Vor ein paar Jahren, als ich die Functionsstörungen durch Asymmetrie noch nicht mit der nöthigen Genauigkeit untersuchte, kam mir ein Fall der Art vor. Ich will hier einfach das wiedergeben, was damals notirt wurde.

Fall VII. Astigmatismus durch angeborene Excentricität der Krystalllinse. Jakob D., 20 Jahr alt, stellte sich am 24. April 1860 vor: er hat Myopie = $^1/_4$ auf beiden Augen, S = $^1/_2$ auf dem linken, S = $^1/_4$ auf dem rechten Auge. Bei schiefer Haltung des negativen Glases vor dem rechten Auge kann die Sehschärfe nahezu auf $^1/_2$ gebracht werden. Lange Sehachse; überhaupt grosse Augen. Gleichwohl auf keinem von beiden Atrophie der Choroidea, jedoch auf dem linken ein weisser, unregelmässig umschriebener, die Netzhautgefässe bedeckender Fleck, schmaler als die Papilla n. optici, unter welcher er sich befand. Enge vordere Kammern, dabei eine sehr starke Iridodonese, besonders an der Innenseite der Iris; gute Reflex-, wenig Accommodationsbewegung der Pupillen. Die tolale Accommodationsbreite des linken Auges = $\frac{1}{8\frac{2}{3}}$; wird indessen durch $-\frac{1}{3\frac{1}{2}}$, in $^1/_2$″ Entfernung vom Knotenpunkt, die Myopie neutralisirt, so liegt bei R = ∞ auf dem linken Auge der Nahepunkt auf 17″.

Durch Sulphas Atropini erhalten die Pupillen einen scheinbaren Durchmesser von $8^1/_2$ mm. Die Iridodonese bleibt dabei bestehen. Es zeigt sich jetzt, dass eine gewisse Entfernung besteht zwischen der (in der That sehr nach vorn dislocirten) Iris und der Krystalllinse und zugleich, dass diese letztere excentrisch liegt. Bei Untersuchung mit dem Augenspiegel sieht man an der Aussenseite einen schmalen sichelförmigen rothen Saum um den Linsen-Aequator; dieser helle Rand wird breiter, wenn man ein wenig von innen nach aussen in das Auge sieht, geht man jedoch noch mehr nach aussen, so wird er bald wieder schmaler und

verschwindet auf dem rechten Auge sogar ganz. Offenbar liegt also der Aussenrand der nach innen und oben verschobenen Linse mehr nach vorn als der obere-innere Rand, besonders auf dem rechten Auge. Das Reflexbild der Vorderfläche der Linse ist in beiden Augen schwach, schwierig zu sehen, sehr nahe am Reflexbild der Hornhaut gelegen, und bewegt sich beim Bewegen der Flamme mehr als das letztere. Das Reflexbild der hinteren Linsenfläche steht ziemlich weit entfernt vom Hornhautbild und beträchtlich höher als dieses. Sah man mit dem Phacoidoskop[1]) unter einem Winkel von 30° mit der Sehlinie von der Aussenseite her in das linke Auge, während die Flamme sich auf der Linie befand, welche von der andern Seite einen Winkel von 30° mit der Sehlinie bildete, so betrug die Entfernung zwischen dem Hornhaut-Reflexbild und dem hinteren Linsenbild 3⅓ mm., während die Linie, welche jene beiden Bildchen vereinigte, einen Winkel von 35° mit der Horizontalebene bildete, in welcher die Sehlinie, die Flamme und das beobachtende Auge sich befanden.

Bei der Augenspiegel-Untersuchung im umgekehrten Bild zeigen die Gefässe auf und neben der Sehnervenfläche, bei den üblichen Bewegungen der Objectiv-Linse, auf dem linken Auge nahezu keine, auf dem rechten Auge eine sehr ansehnliche parallactische Verschiebung (deren Richtung und Zusammenhang mit der Bewegung der Linse nicht notirt ist).

Die Messung der Cornea ergab, in einer horizontal durch die Sehlinie gelegten Ebene für ϱ^0 in der Sehlinie, für $\varrho n'$ und $\varrho n''$ 11° 23′ und 22° 46′ nach der Nasenseite, und für $\varrho t'$ und $\varrho t''$ 11° 23′ und 22° 46′ nach der Schläfenseite der Sehlinie, folgende Resultate (wobei jeder Werth das Mittel aus vier Messungen ist):

	Rechtes Auge.	Linkes Auge.
$\varrho n''$	8,70	8,87
$\varphi n'$	8,16	8,16
ϱ^0	8,14	8,10
$\varrho t,$	8,21	8,17
$\varrho t''$	8,61	8,50

[1]) Vergl. die Methode in Nederl. Lancet. 3. Serie, D. III., pag. 242.

Hieraus ergiebt sich, dass die Hornhäute einen grossen Radius haben, dass die Ellipsoide-Krümmung in der Horizontalebene sehr regelmässig ist und eine geringe Excentricität besitzt, und endlich, dass die Hornhautachse und die Sehlinie nahezu zusammenfallen.

Epicrisis. Ich will nur näher constatiren, dass die Krystalllinse besonders auf dem rechten Auge eine schräge Lage hatte, so dass ihre Achse viel von der Hornhautachse abweichen musste, und dass zugleich eine Herabsetzung der Sehschärfe bestand, welche sich durch eine schiefe Haltung der negativen Linse $-\frac{1}{3\frac{1}{2}}$, durch welche die Myopie corrigirt wurde, verbessern liess. Es bestand also Astigmatismus. Obwohl wir bedauern müssen, dass weder die Richtung noch der Grad der Neigung verzeichnet ist, welche man der Achse der negativen Linse geben musste, und dass daher Richtung und Grad des vorhandenen und dabei corrigirten Astigmatismus unbekannt sind, und obwohl wir ferner gern auch die Krümmung der Cornea in der Verticalebene gekannt hätten, um diese als Ursache des Astigmatismus auszuschliessen, so glauben wir nichtsdestoweniger berechtigt zu sein, den beobachteten Astigmatismus auf den schiefen Stand der Krystalllinse zu beziehen. Damit ist denn das Bestehen dieser Kategorie von Astigmatismus bewiesen und dies sei vor der Hand genug. — Verschiedene Messungs-Resultate, welche wir mittheilten, können später, wenn es zur Vergleichung mehrerer derartiger Fälle wünschenswerth erscheinen sollte, zur Berechnung gebraucht werden.

Erwähnung verdient noch, dass 3 ältere Brüder und eine Schwester des Kranken normale Augen haben, dass jedoch ein jüngerer Bruder und vielleicht auch die Mutter an demselben Gebrechen leiden.

II. Erworbener regelmässiger Astigmatismus.

A. Abhängig von der Cornea. Im Obenstehenden wurde der erworbene Astigmatismus kaum erwähnt. Ich muss bekennen, dass ich ihn bis vor kurzer Zeit als weniger wesentlich betrachtete. Gewiss nur sehr selten ist er ab-

hängig von einer durch partielle Luxation entstandenen schiefen Lage der Krystalllinse; und liegen Veränderungen der Hornhaut zu Grunde, so ist fast ohne Ausnahme unregelmässiger Astigmatismus zu erwarten. Ich vermuthete daher a priori, dass cylindrische Gläser hierbei die Sehstörung wenig oder nicht verbessern würden. Die Erfahrung hat jedoch für viele Fälle das Gegentheil erwiesen. In einem Falle von centralem Hornhautfleck verrichtete ich die Iridectomie und erhielt eine gut gestaltete Pupille, welche nur in der Mitte etwas diffuses, übrigens aber regelmässig gebrochenes Licht durch die Cornea erhielt. Nichtsdestoweniger war die Sehschärfe sehr unvollkommen: während das Auge $^1/_{30}$ Hypermetropie besass, konnte selbst mit Gläsern von $^1/_{10}$ Nr. VI nicht gelesen werden. Die Buchstaben hatten eine abweichende Gestalt, in einer schrägen Richtung zeigten sie eine unregelmässige Verlängerung. Bei der ophthalmoscopischen Untersuchung brachten Bewegungen der Objectiv-Linse eine beträchtliche Parallaxe hervor. Ich versuchte die Combination eines Convexglases mit einem cylindrischen und die Sehschärfe erreichte nahezu das Doppelte. Ein gewöhnlicher Druck konnte nun gelesen werden. — A posteriori ist die Sache deutlich genug. Der bestehende Astigmatismus kann in einen regelmässigen und in einen unregelmässigen zerlegt werden, und nach Correction des regelmässigen bleibt der unregelmässige weniger störend übrig. Ich halte mich überzeugt, dass in vielen Fällen, wo wegen Verdunklung der Cornea Iridectomie oder Iriddesis verrichtet wurde, durch cylindrische Gläser grosse Vortheile zu erreichen sein werden. Man versuche nur, ob ein cylindrisches Glas von ungefähr $^1/_{30}$ c vor dem Auge rundherumgedreht, nicht abwechselnd Erhöhung und Herabsetzung der Sehschärfe hervorbringt, und kennt man hiernach die nothwendige Richtung, so versuche man in diesen Fällen einfach, welcher Stärke der cylindrischen Gläser der Vorzug

gegeben wird. Die oben beschriebenen mehr indirecten Methoden leiten hier im Allgemeinen weniger bequem zum Ziel.

Auch ohne dass eine Iris-Operation angestellt worden zu sein braucht, sind bei erworbenen Formveränderungen der Cornea cylindrische Gläser manchmal sehr nützlich.

Fall VIII. M. Kr., ein 14jähriges Mädchen, hat vor einigen Jahren durch perforirende Hornhautgeschwüre mit nachfolgender Atrophie das linke Auge verloren. Auch auf dem rechten Auge ist nach unten und innen eine Narbe mit Prolapsus und Verwachsung der Iris zurückgeblieben. Die Pupille ist dabei nach unten und innen verzogen, übrigens aber rein und es gelangt nur wenig diffuses Licht in das Auge. Gleichwohl lässt die Sehschärfe viel zu wünschen übrig und wird durch Ausschluss des diffusen Lichtes kaum verbessert. Ausserdem besteht hochgradige Myopie, mit welcher daher Amblyopie verbunden zu sein schien. Von der Voraussetzung ausgehend, dass die Form der Cornea als Ursache der Herabsetzung der Sehschärfe im Spiel sein möchte, untersuchte ich hierauf und fand auch wirklich, dass ein Lichtpunkt mit - $^1/_5$ als eine schräge stehende, mit - $^1/_6$ etwas weiter vom Auge entfernt als schräge liegende Linie gesehen wurde. Beim Anwenden der Spalte in einer der beiden Richtungen hob sich die Sehschärfe sehr beträchtlich. Mit - $^1/_{30}$ c können in der Nähe feine Arbeiten verrichtet werden, was ohne cylindrische Gläser ganz unmöglich war.

Etwas ausführlicher erlaube ich mir einen Fall mitzutheilen, welcher gewiss zu den höchst seltenen gehört.

Fall IX. Erworbener regelmässiger Astigmatismus der Cornea. J. F., Brigadier in der Armee, 31 Jahr alt, klagt, dass sein Sehvermögen seit ein paar Jahren schlechter und schlechter wird. Eine vollkommene Sehschärfe besass er auch früher nicht. Die Corneae zeigen, besonders bei Focal-Beleuchtung, eine allgemeine leichte Trübung, welche in Folge einer

3 Tage nach der Geburt entstandenen eitrigen Entzündung zurückgeblieben sein soll. Auf dem rechten Auge ist ausserdem die Grenze zwischen Cornea und Sclera, wegen peripherischer Flecken, nicht zu bestimmen; mitten auf der Oberfläche der Linse befindet sich noch ein kleiner, scharf begrenzter, nicht erhabener Fleck. Keines von beiden hat ihn früher verhindert, in Dienst zu treten. Jetzt jedoch war die Sehschärfe auf dem rechten Auge auf $^1/_{10}$, auf dem linken Auge auf ein $^1/_5$ gesunken, und war er nicht mehr im Stande, seine Dienstpflichten gehörig zu erfüllen.

Die vorhandene Trübung der Cornea erklärte die Sehstörung nicht genügend. Auch war ohne neue entzündliche Erkrankungen das Sehvermögen mehr und mehr gestört worden. Die Krümmung der Hornhäute schien uns abnorm zu sein, — eine Annahme, welche durch die ophthalmometrische Untersuchung vollständig bestätigt wurde. Die Ergebnisse waren wie folgt:

	in H.	in V.
Rechtes Auge	$\varrho n'' = 9,64$	$\varrho i'' = 9,96$
	$\varrho^0 = 8,72$	$\varrho^0 = 7,13$
	$\varrho t'' = 7,77$	$\varrho s'' = 7,38$
Linkes Auge	$\varrho n'' = 10,97$	$\varrho i'' = 7,59$
	$\varrho^0 = 8,40$	$\varrho^0 = 7,25$
	$\varrho t'' = 8,45$	$\varrho s'' = 7,17$

Offenbar ist der Krümmungsradius in der Horizontalebene viel grösser als in der verticalen. Und desshalb, obgleich in der Form der Krümmung vielerlei Unregelmässigkeiten zu bemerken waren und die Untersuchung mit dem Lichtpunkt denn auch kein Resultat ergab, war hier von cylindrischen Gläsern Verbesserung zu erwarten: und wirklich wurde mit einem Glas von $^1/_8$ c, dem einzigen, welches uns zur Zeit zur Verfügung stand, die Sehschärfe bereits auf $^1/_3$ erhöht. Bei grösserer Auswahl von Gläsern wäre gewiss eine noch beträchtlichere Besserung zu erreichen gewesen.

Zu meinem Bedauern fand sich später keine Gelegenheit wieder, den Patienten nach verschiedenen Methoden noch genauer zu untersuchen.

Epicrisis. Die Ursache der hier bestehenden abnormen Krümmung der Cornea ist nicht ganz deutlich geworden. Mit vollkommener Wahrscheinlichkeit aber kann man annehmen, dass die Ophthalmia neonatorum eine gewisse Formveränderung und ungleichmässige Widerstands-Fähigkeit zurückgelassen hatte, welche dann, sei es in Folge von Veränderung des intraoculären Druckes oder unter dem Einfluss fast unmerkbar sich dazugesellender Ernährungsveränderungen, zunahm. — Ersichtlich war die Krümmung sehr unregelmässig. Auf beiden Augen ist in der Horizontalebene nach der Temporalseite und in der Verticalebene nach Oben zu die Krümmung besonders stark, zum Theil in 20° Entfernung von der Sehlinie noch stärker als in dieser selber, obgleich diese, wie die direkte Bestimmung lehrte, in der Horizontalebene nur $3^1/_2{}^0$ vom Mittelpunkt der Cornea abwich. Aber trotz dieser Unregelmässigkeit trat doch die grosse Verschiedenheit der Krümmung für den verticalen und horizontalen Meridian in den Vordergrund: und desshalb war auch von cylindrischen Gläsern viel Vortheil zu erwarten.

Bemerkenswerth ist hierbei, dass die Cornea, wenn sie ursprünglich eine mittlere Krümmung besass, sowohl im horizontalen Meridian einen grösseren, als im verticalen einen kleineren Krümmungsradius acquirirte.

Ich habe diesen Fall einen seltenen genannt. Gewöhnlich nämlich bleibt bei erworbenen Formveränderungen der Cornea, sei es konische Krümmung oder vollständige Unregelmässigkeit und Unebenheit, die Untersuchung mit dem Ophthalmometer ohne Resultat, und es kann sich nur empirisch zeigen, ob cylindrische Gläser von einigem Nutzen sind oder nicht.

B. Erworbener unregelmässiger Astigmatismus, verursacht durch die Linse. Sowohl die erworbene als die angeborene Ectopie der Linse (von welcher pag. 118 die Rede war) kann regelmässigen Astigmatismus verursachen. Häufig wird dabei die Linse so stark verschoben, dass sie nicht mehr dem ganzen Pupillargebiet entspricht, wodurch denn ein hoher Grad von unregelmäs-

sigem Astigmatismus eingeführt wird. Nimmt aber die Linse eine schräge Lage in der Pupillarebene an, so muss dies regelmässigen Astigmatismus zur Folge haben, welcher durch cylindrische Gläser verbessert wird Ein nicht unwichtiges Beispiel hiervon liefert

Fall X. J. S., 42 Jahr alt, wurde vor vier Jahren auf dem linken Auge mit gutem Erfolg an Cataract operirt. Ein Jahr nachher wurde ihm das rechte Auge durch den Rückschlag eines gebogenen Zweiges verletzt. Bis dahin hatte er mit diesem Auge scharf in die Ferne gesehen. Jetzt erschien ihm alles neblich. Bei der Untersuchung fand ich Iridodonese in hohem Grad, zitternde Bewegung der Linse (bei jeder kräftigen Bewegung zu constatiren, sowohl am Reflexbild, als bei seitlicher Focal-Beleuchtung an der Linse selbst) und endlich eine geringe Myopie. Mit einem Glas von - $^1/_{36}$ erklärte Patient eben so gut als früher zu sehen. Von einer schiefen Stellung der Linse konnte ich mich nicht überzeugen. Ich betrachtete daher den Zustand als Myopie in Folge von Zerreissung der Zonula Zinnii und sah in dieser Myopie einen Grund für die Helmholtz'sche Erklärung des Accommodations-Mechanismus. Den zitternden Bewegungen der Linse entsprach, nach jeder kräftigen Bewegung des Auges, ein Zittern der Objecte, ganz übereinstimmend mit dem, welches durch rasches Hin- und Herbewegen des neutralisirenden positiven Glases vor seinem aphakischen Auge entstand — und dadurch also erklärt.

Vor wenigen Monaten wandte sich Patient auf's Neue an mich. Die Sehschärfe des rechten Auges war nämlich vermindert. Auch mit Hülfe seiner Brille konnte er nicht mehr scharf in die Ferne sehen. Ich vermuthete, dass die einigermaassen luxirte Linse sich getrübt haben möchte; doch zeigte sich, dass dies nicht der Fall war, die Linse war vollkommen durchsichtig geblieben. Zugleich aber bemerkte ich, dass seit der ersten Untersuchug die Pupille nach der Nasenseite hin abgewichen war, so dass an dieser Seite nur ein schmaler Rand der Iris übrig blieb. Dieser schmale Rand liegt tiefer als der

Aussenrand und besitzt eine convexe Ausbiegung nach vorn: der Pupillarrand ist nach hinten gerichtet, von hier aus wölbt sich die Iris etwas nach vorn und der Marginaltheil weicht wieder derartig nach hinten ab, dass er höchst wahrscheinlich durch die zerrissene Zonula einigermaassen prolabirt ist.

Diesem Verhalten der Iris entspricht eine schiefe Lage der Linse. An der Schläfenseite ist sie mit der Iris nahezu in Berührung; an der Nasenseite muss sie daher ansehnlich tiefer liegen. Durch Sulphas Atropini entsteht eine beträchtliche Erweiterung der Pupille nach oben, unten und nach der Schläfenseite, so dass sie mehr in die Mitte zu liegen kommt. Sieht man in schiefer Richtung in das Auge, so kann man gleichwohl nirgends den Aequator der Linse erblicken. Auch scheint das Centrum der vortices hinlänglich dem Centrum der Cornea zu entsprechen.

Mit der schiefen Lage der Linse ist daher keine oder nur eine geringe seitliche Verschiebung derselben verbunden.

Die Sehschärfe ist ungefähr nur $= {}^{3}/_{8}$. Diese Herabsetzung wurde auf die schiefe Lage der Linse und folglich auf Astigmatismus bezogen. Zahlreiche Versuche wurden angestellt, die denn auch den Beweis dafür lieferten. Nur einige davon theile ich mit. Mit $- {}^{1}/_{12}$ sieht er in der Ferne verticale, mit $- {}^{1}/_{20}$ horizontale Linien am schärfsten. Mit $- {}^{1}/_{36}$ sind die horizontalen bereits nahezu scharf, aber zeigen die verticalen einen Widerschein, welcher nahezu verschwindet, wenn die Pupille an der Nasenseite bedeckt wird. — Der Lichtpunkt erscheint unter keinen Umständen als eine Lichtlinie, sondern im Gegentheil jederzeit verdoppelt. Mit $- {}^{1}/_{24}$ erscheinen beide Doppelbildchen am kleinsten. Mit $- {}^{1}/_{20}$ liegen sie übereinander, mit $- {}^{1}/_{12}$ nebeneinander.

Der Astigmatismus wurde auf Grund dieser Versuche geschätzt auf ${}^{1}/_{12} - {}^{1}/_{20} = {}^{1}/_{30}$.

Epicrisis. Bei der Untersuchung dieses Falles standen mir noch keine cylindrischen Gläser zu Dienste. Man kann indessen annehmen, dass mit einem sphärisch-cylindrischen Glas von $- {}^{1}/_{20}\, s \subset - {}^{1}/_{30}\, c$ (mit vertical gerichteter Achse des Cylin-

ders) R in allen Meridianen ungefähr = ∞ werden würde. Als Lorgnette würde ein derartiges Glas nützlich sein. Für die Nähe aber würde es nicht genügen, weil die Accommodationsbreite, welche sich bei der letzten Untersuchung noch recht ansehnlich zeigte, jetzt fast auf Null reducirt war. Zum Lesen würde man daher R ungefähr auf 12″ bringen müssen: was mit $^1/_{30}$ c mit horizontal gerichteter Achse zu erreichen sein würde.

Der Grad des Astigmatismus lag hier ersichtlich ausschliesslich in der Linse. Die Messung der Cornea ergab nämlich eine ganz ungewöhnliche Symmetrie:

in H.		in V.	
$\varrho n''$	8,64	$\varrho i''$	8,30
$\varrho n'$	7,94	$\varrho i'$	7,98
ϱ^0	7,74	ϱ^0	7,74
$\varrho t'$	7,74	$\varrho s'$	7,76
$\varrho t''$	8,09	$\varrho s''$	8,09

Die Sehlinie wich 50° nach innen vom Hornhautscheitel ab. Bemerkenswerth ist, dass der von schiefer Stellung der Linse abhängige Astigmatismus zur Diplopie Veranlassung gab, was bei den gewöhnlichen Fällen, die auf Asymmetrie der Cornea beruhten, nicht so ausdrücklich angegeben wurde. Am deutlichsten kam die Diplopie beim Betrachten eines Lichtpunktes zum Vorschein. Wir haben uns die Sache so zu denken, dass die Sectoren der Linse vier deutlich zu unterscheidende Bildchen lieferten, welche beim Sehen mit blossem Auge sich sämmtlich schon überkreuzt hatten. Mit - $^1/_{20}$ wurden die übereinander gelegenen, mit - $^1/_{12}$ die neben einander gelegenen zur Vereinigung gebracht. Im ersteren Fall hob sich die Sehschärfe, wenn man die innere oder äussere Hälfte, im letzteren, wenn man die untere Hälfte der Pupille bedeckte.

Es ist mir früher mehrmals vorgekommen, besonders bei Myopen, dass von einem Lichtpunkt zwei oder drei Bildchen gesehen werden, welche, je nachdem schwache oder starke Gläser zu Hülfe genommen wurden, in Linien von entgegengesetzter Richtung lagen. In diesen Fällen wurden nur solche Striche scharf gesehen, welche einer der beiden Richtungen entsprachen.

Offenbar müssen, was auch vollständig mit obigen Beobachtungen übereinstimmt, die vervielfältigten Bilder sich auf dem Strich decken, wenn dieser scharf gesehen werden soll. Ob in diesen Fällen der Astigmatismus von angeborener schiefer Lage der Linse abhing, habe ich damals nicht untersucht. Ich hoffe dazu Gelegenheit zu finden.

Ueber manche merkwürdige Punkte dieses Falles will ich mich nicht auslassen. Nur hinsichtlich der Myopie will ich noch darauf aufmerksam machen, dass dieselbe in Folge von Zerreissung der Zonula entstanden zu sein scheint, trotzdem dass die damit verbundene Dislocation der Krystalllinse nach hinten den entgegengesetzten Zustand, d. h. Hypermetropie veranlassen musste. Bei der ersten Untersuchung, als noch keine schiefe Stellung der Krystalllinse eingetreten war, hatte ich auch keine Atrophie der Choroidea bemerken können, und erklärte der Patient, mit Hülfe eines schwach negativen Glases eben so scharf als früher in die Ferne zu sehen. Jetzt indessen ist an der Aussenseite der Papilla n. optici ein schmaler atrophischer Meniscus sichtbar geworden, was in jedem Fall sehr dafür spricht, dass ursprünglich doch ein geringer Grad von Myopie anwesend war.

IX.

Geschichte unserer Kenntniss des Astigmatismus.

In dem mit Recht berühmten Werk von Mackenzie[1]) und mehr noch in der verdienstvollen französischen Bearbeitung von Warlomont und Testelin[2]) finden wir wesentlich alles vereinigt, was die Wissenschaft bisher über unsern Gegenstand besass. Daraus habe ich zum grössten Theil die bezügliche Literatur kennen gelernt, und insoweit mir die Gelegenheit fehlte, die dort genannten Werke im Original zu vergleichen, hat mein Freund Hulke in London,

[1]) A practical treatise on the diseases of the Eye. London 1854.

[2]) Traité pratique des maladies de l'oeil, par Mackenzie. Paris 1856.

mit grosser Bereitwilligkeit und auf sehr zu Dank verpflichtende Weise, sie statt meiner nachgesehen und mir genaue Auszüge davon zukommen lassen.

Merkwürdigerweise findet man fast nur in der Englischen Literatur den Gegenstand behandelt. Sofort begegnen uns hier zwei Namen, auf welche England stolz sein kann: Thomas Young, der Entdecker des normalen Astigmatismus und der Astronom Airy, welcher zuerst die Asymmetrie eines seiner Augen als ein Gebrechen erkannte und beschrieb.

Uber die Beobachtungen von Young haben wir oben (vergl. pag. 18) bereits das Nöthige mitgetheilt, in Zusammenhang mit anderen Untersuchungen, welche sich auf die Lehre vom normalen Astigmatismus beziehen.

Der Fall von Airy[1]) dagegen, von ihm selbst auf eine des grossen Meisters würdige Weise beschrieben, muss uns hier noch näher beschäftigen. Es handelt sich hier um einen hohen Grad von zusammengesetzten myopischen Astigmatismus. Daher konnte Airy nach seiner Methode den Fernpunkt des deutlichen Sehens in den beiden Hauptmeridianen und zugleich deren Richtung bestimmen: in den stehenden (mit einer Neigung von 35°) war R = 3,5″, in den liegenden R = 6″. Hieraus berechnete er das zur Correction nothwendige Glas und gab auch bereits die Gründe an, warum ein negatives sphärisch-cylindrisches den Vorzug verdiente vor einem concav bi-cylindrischen.

Viele Jahre später theilte er auf's Neue seinen Befund mit.[2]) Damals lag der Fernpunkt im stehenden Meridian auf 4, 7″, im liegenden auf 8,9″. Seine Myopie hatte damals in den beiden Meridianen abgenommen und zugleich schien der Astigmatismus sich einigermaassnn verändert zu

[1]) Transactions of the Cambridge Philosophical Society. 1827. Vol. II. pag. 267.

[2]) Id. — 1849. Vol. VIII. pag. 361.

haben: von $\frac{1}{8\frac{3}{4}}$ auf $\frac{1}{10}$. Airy vermuthet jedoch selbst, dass der Fernpunkt im stehenden Meridian etwas näher liegen könne als 4,7″ und neigt sich zu der Ansicht, dass sein Astigmatismus unverändert geblieben sei. Bei einem Manne wie Airy können wir annehmen, dass er jede Accommodationsveränderung bei der Bestimmung seines Fernpunktes vermied; wir würden sonst zu vermuthen wagen, dass bei seinen früheren Beobachtungen durch Accommodation beim Annähern des Lichspunktes die Myopie im stehenden Hauptmeridian zu gross ausgefallen sei, wobei denn das Zurückweichen des Fernpunktes mit dem Zunehmen der Jahre (was bei dem vorhandenen Grad der Myopie gewiss eine grosse Seltenheit ist) nur scheinbar stattgefunden haben würde.

Anfänglich scheint die Beobachtung von Airy nur zu Cambridge die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt zu haben: Stokes[1]) nämlich verdanken wir die astigmatische Linse zur Bestimmung des Grades des Astigmatismus, und Dr. Goode[2]), der seine Studien zu Cambridge vollendete, theilte zuerst einige neue Fälle dieser Anomalie mit. Er selbst litt auf einem seiner Augen an Astigmatismus, ebenso wie Airy, durch dessen Mittheilung er darauf aufmerksam gemacht wurde. Aus den complicirten Formveränderungen, welche nach seiner genauen Beschreibung ein Lichtpunkt in verschiedenen Entfernungen von seinem Auge einging, kann man ableiten, dass die Asymmetrie mit einem hohen Grad von unregelmässigem Astigmatismus verbunden war. Was den regelmässigen angeht, so lagen die Entfernungen des deutlichen Sehens in den beiden Hauptmeridianen ungefähr

[1]) The Report of the British Association for the advancement of Science for 1849. pag. 10.

[2]) Monthly Journal of Med. Science. Edinb. 1848, pag. 711, — en Transactions of the Cambr. Philosoph. Society. Vol. VIII. pag. 493.

in 6,13 und 25 englischen Zoll. Der Opticus Chamblant zu Paris verfertigte für ihn eine plan-cylindrische Linse, deren cylindrische Fläche mit einem Radius von 9″ concav geschliffen war. Goode giebt an, dass er mit Hülfe dieses Glases sowohl in der Nähe als in der Ferne scharf sah.

In einem zweiten Fall erschien ein Lichtpunkt in 37 Centimeter Entfernung als eine horizontale Linie, ohne für grössere Entfernungen in eine verticale überzugehen. Horizontale Streifen wurden denn auch auf 37 Cent. deutlich gesehen, in grösserer Entfernung nicht mehr; verticale überhaupt in keiner Entfernung. Ein plan-cylindrisches Glas mit 2½″ Radius der convex-cylindrischen Fläche war zu su stark, mit 3″ Radius zu schwach. Ein bi-cylindrisches concav-convex Glas, mit gekreuzten Achsen, die concave Fläche mit 7½″, die convexe mit 4½″ Radius, soll dem Zweck entsprochen haben (?).

In einem dritten Fall erschien ein Lichtpunkt auf 35 Cent. als eine Querlinie und wurde in grösserer Entfernung undeutlich. In derselben Entfernung wurden horizontale Striche scharf gesehen und ein wenig weiter (at some distance beyond) ein verticaler Strich. Eine plan-cylindrische concave Linse von 16″ Radius brachte eine ansehnliche Verbesserung zu Wege.

Goode fand noch drei Herren an der Universität zu Cambridge, deren Astigmatismus auf dem einen Auge verbessert wurde durch eine plan-cylindrische Linse von 12″ Radius.

Diese Fälle, wie sehr wir auch deren Mittheilung zu schätzen wissen, zeigen, dass die Methode von Airy nicht ausreichte, um in beiden Hauptmeridianen den Fernpunkt und im Allgemeinen den Grad des Astigmatismus genau zu bestimmen. Auch der Sitz der Asymmetrie blieb Goode unbekannt. Selbst bei den höchsten Graden von Astigmatismus konnte er sich nicht vom Vorhandensein einer Asym-

metrie der Cornea überzeugen und war daher geneigt, die Ursache in der Linse zu suchen.

Ein Fall von abnormem Astigmatismus wurde beinahe gleichzeitig von Hamilton in derselben Zeitschrift[1]) mitgetheilt. Als Complication bestand hier torpor retinae, wie es scheint, ohne Gesichtsfeld-Beschränkung. Was den Astigmatismus anlangt, so kennzeichnete sich derselbe durch Deutlichkeit von horizontalen, Undeutlichkeit von verticalen Linien. Habe ich den Fall richtig aufgefasst, so wurden verticale Linien in kleinerer, horizontale in grösserer Entfernung scharf gesehen und brachte eine plan-concave cylindrische Linse mit verticalem Stand der Achse Verbesserung hervor. Dr. Thompson fand den verticalen Durchmesser der Cornea etwas grösser als den horizontalen und hielt auch den horizontalen Meridian für etwas stärker gekrümmt.

Es sind ferner die Fälle bekannt, welche Hays der amerikanischen Ausgabe des Werkes von Laurence[2]) zufügte. Der erste betrifft einen Geistlichen, dessen Beschreibung uns ein vortreffliches Bild von einfach myopischem Astigmatismus giebt. Mit blossen Augen sah er verticale, mit einem Concav-Glase horizontale Linien deutlich. Dass er nicht beide zugleich scharf sah, war ihm entgangen, bis sich beim Gebrauch negativer Gläser die Deutlichkeit umkehrte. Nach einer scharfsinnigen Analyse seines Falles kommt unser Kranker zu dem Resultat, dass er ein sphaeroidisches oder cylindrisches Glas zur Correction gebrauchen würde, aber er wagt nicht zu entscheiden, ob es convex oder concav sein müsse. Hays beschränkt sich darauf, mitzutheilen, dass der Opticus Allister ihm ein plancylindrisches (positives oder negatives?) Glas schliff und dass er damit beträchtlich besser sah.

---

1) Monthly Journal, 1847, pag. 891.

2) Laurence, On Diseases of the Eye, edited by J. J. Hays, Philadelphia 1854, pag. 669.

„Wir haben," fährt Hays fort, „im letzten Jahr zwei „Fälle gesehen, in welchen dasselbe Gebrechen bestand. Der „erste betraf eine junge Dame von 16 Jahren, deren Sehschärfe „so viel zu wünschen übrig liess, dass ihre Ausbildung dar- „unter leiden musste. Ich brachte sie zu Herrn Allister „und fand, dass mit Hülfe einer starken bi-concaven Linse „das rechte Auge ganz gut sah, dass dagegen weder ein „Concav-, noch ein Convexglas zu finden war, womit das „rechte Auge einen gewöhnlichen Druck unterscheiden konnte. „Von zwei dunkeln gekreuzten Linien von gleicher Länge „schien ihr die verticale länger zu sein als die horizontale. „Herr Allister legte ihr jetzt einige Figuren vor, und „nun zeigte es sich, dass ihr ein Kreis als ein stehendes „Oval erschien, und dass alle Figuren in verticaler Richtung „verlängert, in horizontaler verkürzt waren. Glücklicher- „weise hatte Herr Allister einige plan-concave cylindrische „Gläser bei der Hand und nun zeigte es sich bald, dass „damit die Formen richtig gesehen wurden. Sie erhielt „eine Brille mit einem bi-concaven Glas vor dem linken und „einem plan-concaven cylindrischen Glas vor dem rechten Auge, „womit sie mit jedem Auge einzeln — oder besser noch, mit „beiden zugleich einen gewöhnlichen Druck lesen konnte.

„Der zweite Fall kam vor bei einem Herrn von 50 Jahren, „der mich wegen Entzündung seines besseren Auges con- „sultirte und erklärte, dass er mit dem andern jederzeit „schlecht gesehen habe. Bei der Untersuchung ergab sich, „dass dies Auge dem des vorigen Falles gleich war, aus- „genommen, dass die Objecte hier in der Breite verzogen „waren."

Ausser obenstehenden Fällen hat die Literatur nur noch einen aufzuweisen, welcher auf dem Continent Europas beobachtet wurde. Er wurde von dem Geistlichen Schnyder von Menzberg (Schweiz, Cant. Luzern) beschrieben,

welcher diese Anomalie an sich selbst entdeckte.[1]) Er war kurzsichtig für verticale, weitsichtig für horizontale Linien. Zur Correction gebrauchte er bi-convexe cylindrische Gläser, combinirt mit bi-concaven sphärischen. Welche Brennweite die Gläser hatten, ist nicht angegeben. Herr Schnyder hatte kein anderes Mittel zur Untersuchung, als den Versuch, dass horizontale und verticale Drähte nicht in gleicher Entfernung deutlich gesehen wurden. Zur Bestimmung der erforderlichen Gläser scheint er untersucht zu haben, welche Gläser er brauchte, um horizontale und welche, um verticale Drähte in derselben Entfernung scharf zu sehen.

Ich könnte hiermit die Geschichte unserer Kenntniss des Astigmatismus schliessen. Andere Thatsachen sind mir wenigstens nicht bekannt geworden. Es scheint mir jedoch noch etwas näher erwähnt werden zu müssen, was hinsichtlich des Sitzes der Abnormität von verschiedenen Schriftstellern angenommen oder vermuthet wurde.

So wie man von Airy erwarten konnte, hat er — in Ermangelung genügender Gründe sich weislich enthalten, über den Sitz der Asymmetrie ein Urtheil auszusprechen. Es scheint auch keinen Versuch gemacht zu haben, über diesen Punkt ins Gewisse zu kommen. Goode dagegen theilt uns mit, dass er in einem Fall von stark entwickeltem Astigmatismus, vergeblich suchte sich aus der Form eines Spiepelbildes von einer besonderen Asymmetrie der Cornea zu überzeugen und erklärt sich daher mit Recht geneigt, den Sitz in der Krystalllinse zu suchen.

In dem von Hamilton beschriebenen Fall untersuchte Dr. Thompson die Cornea, die er in verticaler Richtung etwas grösser fand als in horizontaler, „being shaped somewhat irregularly, and the diameter projecting slightly

---

1) Ann. d'Oculistique. T. XXI. pag. 222. Bruxelles 1849, — aufgenommen aus den Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, welche mir nicht zu Gebote standen.

upwards and inwards." Hamilton setzt hinzu: „Dr. Thompson thought he perceived a somewhat more marked curvature of the cornea in the transverse diameter." Nach welcher Methode die Untersuchung angestellt wurde, ist uns unbekannt geblieben. Sie führte jedenfalls zu der Vermuthung, dass die Cornea an der vorhandenen Asymmetrie betheiligt war.

Wharton Jones[1]) und Wilde[2]) gehen noch weiter: ohne nähere Untersuchung nehmen sie an, dass der Grund des Astigmatismus wirklich in der Cornea zu suchen sei. Als eine bekannte Thatsache stellten sie in den Vordergrund, dass die Cornea in ihrem verticalen Meridian einen kleineren Krümmungsradius habe als im horizontalen, und erklären nun den Fall von Airy (aus eigner Beobachtung kannten sie keine Fälle) als eine besonders starke Entwickelung dieser Differenz.[3]) Wo sie den Beweis für die von ihnen in den Vordergrund gestellte Thatsache hernehmen, ist mir ein Räthsel geblieben.[4]) Wharton Jones gab

---

1) Manual of ophthalmic Medecine and Surgery. Edit 2. London 1855. pag. 352.

2) Dublin Quarterly Journal of med. Vol. XXVIII. pag. 105.

3) Was W. Jones (Cyclopaedia of practical Surgery, Art. Cornea pag. 832) beschreibt als „a case of cylindrical deformation of the cornea, produced by injury" kann hier nicht in Betracht kommen.

4) Soviel ich weiss, war zur Zeit der Mittheilung von Jones und Wilde nur erst von einer Cornea der Krümmungsradius im verticalen und im horizontalen Meridiau bestimmt — und zwar von Senff (vergl. Volkmann, Art. Sehen, S. 271 in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie. 1846). Hierbei war der Radius im verticalen Meridian kaum kleiner gefunden. Wie wenig man sich ausserdem an eine Beobachtung halten kann, ergab sich aus den Beobachtungen von Knapp, welcher in der grössten Hälfte seiner Fälle den Radius im verticalen Meridian grösser fand. Erst nach den zahlreichen von uns angestellten Versuchen ist es daher erlaubt, zu behaupten, dass durchgehends der horizontale Meridian den grössten Radius besitzt. — Ein Werkchen indessen, welches ich an mehr als einer Stelle citirt fand, habe ich nicht zu Rathe ziehen können: ich meine Gerson, De forma corneae. Göttingen 1810. Mackenzie (l. c. pag. 926) entlehnte hieraus die Thatsache, dass Fischer horizontale und verticale Linien nicht zugleich deutlich sehen konnte. Es

seine Erklärung nur als eine Vermuthung. Wilde dagegen sagt ausdrücklich: „It is well known, that the cornea is not a correct surface of revolution but that the curvature of its horizontal plane is less than that of its vertical. When this exceeds the normal extent, it gives rise to irregular refraction, causing a circle to appear an oval," etc.

Wilde war so fest von der Richtigkeit dieser Ansicht überzeugt, dass er nicht anstand, den von Wharton Jones gewählten Namen cylindrical eye durch cylindrical cornea zu ersetzen.

Dass, abgesehen von einigen Ausnahmen, Wharton Jones und Wilde das Richtige getroffen haben, hat sich aus unseren Untersuchungen ergeben. Kann ihnen das aber als ein Verdienst angerechnet werden? Meines Erachtens gab die Beobachtung von Young an seinen eigenen Augen viel eher Veranlassung, den Sitz in der Krystalllinse zu suchen, und so lange die Asymmetrie der Cornea nicht durch Messung vollständig erwiesen war, schien es vorsichtig, sich daran zu halten. Ihre Behauptung war also gewagt. Man sieht, auch in der Wissenschaft gilt mitunter „fortuna juvat audacem."

handelt sich also hier um Astigmatismus. Dieser Umstand, in Zusammenhang mit dem Titel des Werkchens, lässt wohl vermuthen, dass Gerson dessen Sitz in der Cornea suchte. Hat man vielleicht hier die Gründe zu suchen für die Behauptungen von Wharton Jones und von Wilde? Mir scheint es nicht zu vermuthen, dass die Form der Cornea von Gerson schon 1810 hinreichend genau bestimmt worden sei, — noch weniger, dass alle späteren Autoren dies übersehen haben sollten.

Berlin, Druck von W. Büxenstein.